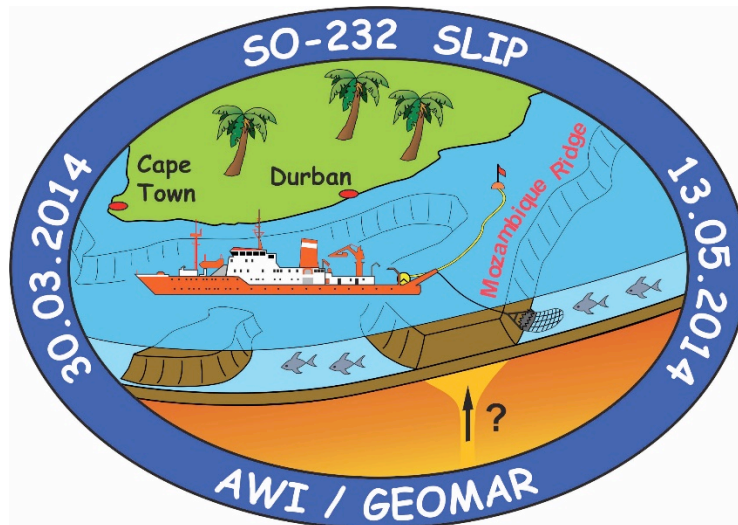


SO - 232 SLIP

SUSPECTED LARGE IGNEOUS PROVINCE – HANDELT ES SICH BEIM MOZAMBIQUE RÜCKEN UM EINE LARGE IGNEOUS PROVINCE?



Abschlussbericht

- 03G0232B -

Berichtszeitraum: 01. Januar 2014 bis 30. Juni 2016

K. Hoernle, R. Werner, F. Hauff (GEOMAR)

unter Mitarbeit von

G. Jacques (GEOMAR, BGR), Jo-Anne Wartho (GEOMAR)

G. Uenzelmann-Neben (AWI)

Gefördert von:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Vorbemerkung

Das Forschungsvorhaben SO-232 SLIP wurde vom Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) und vom Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR) gemeinsam durchgeführt. Projektkoordinatorin ist Frau Dr. Gabriele Uenzelmann-Neben (AWI). Der hier vorliegende Bericht umfasst den GEOMAR-Anteil dieses Forschungsvorhabens. Dieser beinhaltet vom GEOMAR unter Leitung von Prof. K. Hoernle durchgeführte vulkanologisch-geochronologisch-geochemische Arbeiten. Über den Verlauf und die Ergebnisse des am AWI durchgeführten geophysikalischen Projektteils wird Frau Uenzelmann-Neben einen gesonderten Abschlussbericht vorgelegt. Die am AWI durchgeführten Arbeiten hier nur dann erwähnt, wenn diese die am GEOMAR vorgenommenen Untersuchungen und die in diesem Abschlussbericht dargestellten Ergebnisse direkt betreffen.

I.1. Aufgabenstellung

Das Forschungsvorhaben SO-232 SLIP wurde vom Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) und vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel gemeinsam durchgeführt. In diesem Vorhaben sollten umfangreiche geophysikalische und vulkanologisch-geochronologisch-geochemische Untersuchungen im Bereich des Mozambiquerückens durchgeführt werden, um Struktur und Aufbau des Basements und der Sedimente des Rückens sowie des darunter liegenden obersten Mantels detailliert zu erfassen. Ziel der Analyse dieser Daten waren Rückschlüsse auf den petrologisch-magmatischen Aufbau des Rückens, die Tiefen- und Horizontalverteilung und damit eine Volumenabschätzung und Altersabfolge der Intrusiva und Extrusiva. Weiterhin wurden Struktur und Verteilung der Sedimentbedeckung untersucht, um die Entwicklung des Mozambiquerückens nach seiner initialen Entstehung und seine Rolle für den Wassermassenaustausch zwischen indischem und südatlantischem Ozean zu verstehen. Die wichtigsten Ziele der Untersuchungen sind im Folgenden aufgelistet, wobei mit blauer Schrift sind die vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Zielsetzungen markiert sind, die Gegenstand dieses Berichts sind:

- 1) Eine Charakterisierung der magmatischen Gesteine des Mozambiquerückens. Ursprung, Entwicklung, Ausdehnung und Alter des Vulkanismus sollten auf Basis einer flächendeckenden, systematischen Beprobung möglichst aller geomorphologischen Einheiten des Arbeitsgebietes identifiziert werden, da nur so z.B. verschiedene Aktivitätsphasen oder mögliche (systematische?) Variationen in der Zusammensetzung der Vulkanite erfasst werden können.
- 2) Die seismische Charakterisierung der Topographie der Basementoberkante sowie der Verteilung und räumlichen Ausdehnung von geneigten Reflexionen (Indiz für exzessiven Vulkanismus) und möglicher Störungen in der oberen Kruste. Weiterhin sollte der Übergang in die umgebende ozeanische Kruste abgebildet werden. Eine Abschätzung des Volumens der vulkanischen Lagen sollte erfolgen. An geeigneten Lokalisationen sollten diese vulkanischen Lagen dann beprobt werden, um Informationen über deren Ursprung und Alter zu erhalten.
- 3) Eine Erfassung und Charakterisierung der sedimentären Sequenzen vom Mozambiquerücken bis ins Natal Valley und Transkei Becken (auch Anschluss an die Profile des AISTEK-I Projektes) mittels reflexionsseismischer Profile und Parasoundregistrierungen. So sollten Ab/Umlagerungsprozesse identifiziert, aber auch Hinweise auf syn/post-sedimentäre tektonische Prozesse gesammelt werden. Auf diese Weise sollten weitere Hinweise auf die Entwicklung und Modifikation der Strömungssysteme südöstlich Afrikas und deren Ursache erarbeitet werden, die hier für den Wärmeaustausch verantwortlich sind.
- 4) Die seismische und petrologische Charakterisierung von zwei möglichen Bohrlokationen des International Ocean Discovery Program (IODP) Bohrvorschlags 834-Full Agulhas-Transkei Transect, an welchem die Antragsteller beteiligt sind. Im Rahmen dieses Bohrvorschlags sollen u.a. Fragen nach dem kretazischen Vulkanismus südlich Afrikas, des kretazischen Klimas sowie der Entwicklung der kretazischen Zirkulation und des modernen Strömungssystems beantwortet werden. Der Bohrvorschlag ist inzwischen von IODP

angenommen und zur Fahrtplanung an das Joides Resolution Facility Board weitergeleitet worden (s.a. Abschnitt II.4 dieses Berichts).

- 5) Ein Beitrag zur Klärung der Frage nach dem Ursprung der gegenüber atlantischen und pazifischen MORB geochemisch angereicherten Signaturen von indischen MORB („Indian Mantle Domain“, z.B. Dupré and Allègre, 1983, Nature 303) und der sogenannten DUPAL-Anomalie (Hart, 1984, Nature 309), die sich als bis zu 60° breites Band in der südlichen Hemisphäre um die gesamte Erde erstreckt und in deren Bereich geochemisch stark angereicherte Signaturen in Intraplattenvulkaniten auftreten. Einige Autoren führen diese Signaturen auf Fragmente unterer kontinentaler Kruste zurückgeführt, die infolge des Gondwana-Aufbruchs in den oberen Mantel gelangt sein könnten. Es sollte u.a. überprüft werden, ob der (möglicherweise) kontinentale Teil des Mozambiquerückens ein Beispiel für ein solches Fragment repräsentieren könnte und ob die Vulkanite des Mozambiquerückens auch angereicherte geochemische Signaturen aufweisen, die auf Kontamination von basaltischen Mantelschmelzen durch Interaktion mit kontinentaler Unterkruste zurückzuführen sind. Um bei der Probennahme möglichst alle Komponenten, die bei der Bildung des Mozambiquerückens eine Rolle gespielt haben könnten (Ozeaninselbasalt [OIB], mittelozeanischer Rückenbasalt [MORB], kontinentales Material), zu erfassen, war eine relativ detaillierte, flächendeckende Beprobung des Rückens erforderlich.

I.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Wichtige Voraussetzungen für die vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen von SO-232 SLIP bildeten die Zusammenarbeit mit den Geophysikern des AWI und unsere eigenen Vorarbeiten. Beides wird im Projektantrag und in den relevanten Abschnitten dieses Berichts umfassend dargestellt.

Das von vorherigen Projekten vorhandene Proben- und Datenmaterial wurde soweit sinnvoll in das Vorhaben mit einbezogen. Die überaus meisten der für die Untersuchungen im Rahmen von SO-232 SLIP notwendigen Daten und Proben wurden jedoch auf der Ausfahrt SO-232 gewonnen. Der erfolgreiche Verlauf von SO-232 bildete somit eine der wichtigsten Voraussetzungen für den erfolgreichen Abschluss der vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen des Forschungsvorhabens SO-232 SLIP.

Weitere wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung von SO-232 SLIP umfassen:

- Finanzierung der Schiffs- und Transportkosten der Expedition SO-232 mit FS. SONNE durch das BMBF.
- Finanzierung von wissenschaftlichem Personal durch das BMBF (Dr. Guillaume Jaques, studentische Hilfskräfte).
- Bereitstellung von Probennahmegeräten (u.a. Dredgen) sowie umfangreichen Verbrauchsmaterials durch GEOMAR für den Zeitraum der Expedition SO-232.
- Finanzierung eines Teils des fahrtbezogenen Verbrauchsmaterials durch das BMBF.
- Nutzung des EM120 Fächerecholots und des ATLAS PARASOUND-Sedimentecholots sowie der CTD an Bord des FS. SONNE.
- Umfangreiche Bereitstellung von Verbrauchsmaterial, Laborinfrastruktur und Messzeiten des GEOMAR zur Durchführung der petrologischen, geochemischen und geochronologischen Analytik.
- Etablierung und Weiterentwicklung der analytischen Methoden.
- Anfertigung von Gesteinsdünnschliffen und Durchführung von Teilen der Haupt- und Spurenelementanalytik in externen Laboren als Auftrag (BMBF-finanziert).
- Bereitstellung des Gesteinsprobenlager für SO-232 Probenmaterial durch GEOMAR.
- Datenhaltung und Datenverwaltung am GEOMAR und in der PANGAEA-Datenbank (www.pangaea.de).

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf der vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen des Vorhabens SO-232 SLIP entsprach abgesehen von einigen kleineren Verzögerungen bzw. Umstellungen bei den Laborarbeiten der von uns im Antrag vorgeschlagenen Arbeits- und Zeitplanung. Die zugehörige FS. SONNE-Reise SO-232 verlief erfolgreich. Die Reise begann

am 30.03.2014 in Durban / Südafrika und endete am 13.05.2014 in Kapstadt / Südafrika. Insgesamt wurden während SO-232 im Rahmen der vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen neben umfangreichen Fächerecholotvermessungen 59 Dredgezüge durchgeführt, wovon 35 massive magmatische Gesteine, 16 vulkaniklastische Gesteine (darunter Brekzien die Lavaklasten enthalten), 25 sedimentäre Gesteine und 26 Mangankrusten und/oder -knollen erbrachten. Bemerkenswerterweise fand sich in einigen Dredgen frisches vulkanisches Glas, das detaillierte petrologische und geochemische Untersuchungen der plateaubildenden Schmelzen erlaubt. Detaillierte Informationen zum Verlauf der Schiffsexpedition und eine ausgiebige Dokumentation ihrer Ergebnisse finden sich im Fahrtbericht (Uenzelmann-Neben [Ed.] 2014, Berichte zur Polarforschung 677).

Das auf der Expedition gewonnene Daten- und Probenmaterial bildete eine sehr gute Grundlage für die verschiedenen weiterführenden, im Projektantrag umfassend dargestellten Laborarbeiten und Analysemethoden, aus denen die in Abschnitt II.1. und im Erfolgskontrollbericht vorgestellten Ergebnisse resultierten.

Bei den sich an die FS. SONNE-Reise anschließenden Laborarbeiten waren kleinere Abweichungen bei der geochronologisch-geochemischen Analytik in erster Linie dadurch bedingt, dass sich die Aufbereitung einiger Proben aufgrund von Laborengpässen und der zum Teil starken Alteration etwas verzögerte. So musste z.B. ein Teil der ursprünglich für 2014 geplanten Analytik auf 2015 verschoben werden. Daher wurde mit Einverständnis des Projektträgers ein Teil der 2014 für Auftragsanalytik in Pos. 0850 bewilligten Mittel nach 2015 zu übertragen. Diese geringfügige zeitliche Verschiebung war kostenneutral und hatte keinen Einfluss auf die Erreichbarkeit der Projektziele.

Zur Evaluierung der Gesteinsproben, für petrographische Untersuchungen und für ortsauflösende Analytik wurden ca. 200 Gesteinsdünnschliffe sowie diverse Anschliffe von Gläsern und Mineralen angefertigt. Insgesamt wurden neben Mikrosonden- und LA-ICP-MS-Analysen (Haupt- und Spurenelement- sowie Volatilzusammensetzung von Gläsern, Mineralen und Glaseinschlüssen), ca. 70 Röntgenfluoreszenzanalysen (Hauptelementzusammensetzung von Gesamtgesteinen) und ICP-MS-Analysen (Spurenelementzusammensetzung von Gesamtgesteinen) sowie etwa 50 Sr-Nd-Pb-Isotopenanalysen und 32 Hf-Isotopenanalysen an Gläsern und Gesamtgesteinen durchgeführt. Weiterhin wurde eine Serie von Gesteinsproben für Ar/Ar-Datierungen vorbereitet. Davon konnten 12 datiert werden, wobei nach dem bisherigen Stand aber aufgrund der Alterationsproblematik nicht alle diese Datierungen verwendbar zu sein scheinen (s. Abschnitt 2 des Erfolgskontrollberichts).

Wichtige Meilensteine während der Datenauswertung und -Interpretation waren verschiedene Tagungen und Arbeitstreffen, auf denen Zwischenergebnisse vorgestellt und diskutiert wurden. Bereits Anfang 2015 wurden auf dem Sonne-Statusseminar erste Ergebnisse der vulkanologisch-geochemisch-geochronologischen Untersuchungen von SO-232 SLIP in einem Vortrag des Projektmitarbeiters Dr. Guillaume Jacques vorgestellt. Auch auf der Geoberlin im Oktober 2015 wurden von Dr. Jacques Ergebnisse aus dem Projekt in einem Vortrag präsentiert. Ein weiterer wichtiger Meilenstein war ein Arbeitstreffen am AWI am 01.12.2015, auf dem beide am Projekt beteiligten Arbeitsgruppen ihre Zwischenergebnisse vorstellten, diskutierten und Möglichkeiten zur Integration der geophysikalischen mit den geochemischen Daten besprachen. Auf der AGU Herbsttagung 2015 wurden von Dr. Jacques Ergebnisse aus dem Projekt auf einem Poster einem internationalem Publikum vorgestellt. Auch diese Tagung wurde auch für umfassende Diskussionen mit anderen Wissenschaftlern genutzt. Weitere wichtige Meilensteine waren der Abschluss der präparativen Arbeiten und der geochemischen Analytik sowie die Abfassung der Publikationen bzw. des Manuskripts, das dem Erfolgskontrollbericht als Anlage beiliegt.

Aus dem institutionellen Bereich wurden dem Vorhaben vom GEOMAR neben der arbeitstechnischen Grundausstattung der Projektmitarbeiter Mittel für Verbrauchsmaterial für die Isotopenanalytik, die Mikrosondenanalytik und die Ar/Ar-Altersdatierungen sowie für den Betrieb der entsprechenden Labore beigestellt. Des Weiteren waren vom GEOMAR finanzierte Wissenschaftler, Techniker/innen und studentische Hilfskräfte in das Vorhaben involviert. Für die Expedition SO-232 stellte GEOMAR neben Personal (Wissenschaftler, Technikerin, studentische Hilfskräfte) verschiedene Geräte wie Dredgen inkl. Ersatzteilen sowie umfangreiches Labor- und Verbrauchsmaterial zur Verfügung.

I.4. Wissenschaftlich-technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der wissenschaftlich-technische Stand, an den mit diesem Projekt angeknüpft wurde, wurde im Antrag zu dem Forschungsvorhaben SO-232 SLIP ausführlich beschrieben. Die aktuellen wissenschaftlichen Hypothesen und Fragestellungen werden im Zusammenhang mit unseren vorliegenden Ergebnissen im Erfolgskontrollbericht diskutiert.

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während der Laufzeit des Vorhabens wurde außer mit dem AWI auch mit verschiedenen anderen Stellen im In- und Ausland erfolgreich zusammengearbeitet. Diese Kooperationen, die zukünftig im Rahmen anderer Projekte fortgeführt werden sollen, trugen maßgeblich zu den Ergebnissen bei, die in Abschnitt II.1. und im Erfolgskontrollbericht dargestellt sind und die teilweise bereits in Manuskripte eingeflossen sind. Unsere wichtigsten Kooperationspartner waren bzw. sind (in alphabetischer Reihenfolge der Institute):

Bundesanstalt für Geowissenschaften (Hannover)

Tiefenseismisches Experiment SO-230 / SO-231 am mozambiquanischen Kontinentalrand: Dr. D. Franke

Christian-Albrechts-Universität (Kiel)

ICP-MS-Spurenelementanalytik: Dr. D. Garbe-Schönberg

Ernst Moritz Arndt Universität (Greifswald)

Auswertung der bathymetrischen Daten: Prof. M. Meschede

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (Kiel)

Ar/Ar-Datierungen: Dr. J.-A. Wartho, Dr. P. van den Bogaard

Museum für Naturkunde Berlin

Fixierung und Bearbeitung der biologischen Beifänge: N. Furchheim, Dr. C. Lüter, Dr. B. Neuhaus

Smithsonian Institution (U.S.A.)

Erarbeitung eines IODP-Bohrvorschlags: Prof. Dr. B. Huber

University of KwaZulu-Natal (Südafrika)

Auswertung der Dredgeproben des Mozambiquerückens von der FS Sonne-Reise SO-183: Prof. Dr. M. Watkeys

II.1. Darstellung der erzielten Ergebnisse

II.1.1. Publierte oder in Manuskripten vorliegende Ergebnisse

Trotz der großen Menge und teilweise starken Alteration der zu analysierenden Proben (s. Abschnitt I.3.) und des dadurch sehr aufwendigen präparativen und analytischen „Vorlaufs“ liegt zum Zeitpunkt der Abgabe dieses Abschlussberichts bereits ein Manuskript vor, das für die Publikation in einer internationalen Fachzeitschrift konzipiert ist. Die wichtigsten Ergebnisse der vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen von SO-232 SLIP, die in diesem Manuskript vorgestellt werden, sind im Folgenden in knapper Form zusammengefasst. Da das Manuskript noch nicht publiziert und daher noch vertraulich ist, ist es dem Erfolgskontrollbericht, der nicht publiziert wird, als Anlage beigefügt. Auch weitere, noch nicht in Manuskriptform vorliegende Daten und Interpretationen finden sich im Erfolgskontrollbericht.

Jaques, J, Hoernle K, Hauff F, Werner R, Uenzelmann-Neben G, Garbe-Schönberg D, Fischer M (in Vorbereitung) Nature and Origin of the Mozambique Ridge, SW Indian Ocean

In dieser Arbeit werden neue Haupt- und Spurenelement- sowie Sr-Nd-Pb-Hf-Isotopendaten der am Mozambiquerücken während SO-232 gewonnenen Gesteinsproben vorgestellt und mit publizierten geologischen und geophysikalischen Daten kombiniert. Vor SO-232 SLIP war die Natur und der Ursprung des Mozambiquerückens unklar; die meisten Autoren vermuteten, dass es sich entweder um ein vulkanisches Plateau oder um einen kontinentalen Splitter handelt. Die Beprobung während SO-232 zeigte jedoch, dass zumindest die oberen Einheiten des Rückens eindeutig vulkanischen Ursprungs sind. Die Vulkanite des Mozambiquerückens

weisen DUPAL-artige geochemische Signaturen mit hohem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ und erhöhten $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen bei gegebenen $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen auf. Dieses hohe $\Delta 7/4$ und $\Delta 8/4$ ist jedoch nicht mit einer Abstammung allein aus einer Indischem Mittelozeanischen (MORB)-Mantelquelle konsistent, sondern erfordert eine Zumischung eines großen Volumens einer weiteren, verarmteren Komponente. Die fluid-immobilen Spurenelementverhältnisse der Proben vom Mozambiquerücken deuten auf eine Zufuhr einer Ozeaninselbasalt (OIB)-ähnlichen Schmelzkomponente aus dem umgebenden oberen Mantel hin. Die Isotopenzusammensetzung der Gesteine des Mozambiquerückens ähnelt der von vulkanischen Strukturen im Südatlantik wie den Walvisrücken und den Discovery Seamounts, die auf langlebige Mantelplumes zurückgeführt werden, die aus der Large Low Shear Velocity Province (LLSVP) aufsteigen. Die LLSVP befindet sich an der Kern-Mantelgrenze und wird als möglicher Ursprung der DUPAL-Anomalie angesehen. Interessanterweise überlappt die Zusammensetzung des Mozambiquerückens mit der der kontinentalen Flutbasaltprovinz Karoo-Vestfjella im südlichen Afrika bzw. in der Antarktis, wenn bei dieser die Effekte durch kontinentale Kontamination herausgefiltert werden. Diese Ähnlichkeit deutet darauf hin, dass beide Ereignisse geochemisch in Zusammenhang stehen, obwohl der Mozambiquerücken höchstwahrscheinlich keine Hotspotspur der Karoo-Vestfjella Flutbasaltprovinz ist. Daher werden für den Mozambiquerücken zwei mögliche Modelle in diesem Manuskript diskutiert: (1) die Bildung durch einen zweiten Mantelplume oder (2) Transfer von sukontinentalem lithosphärischem Mantel zu einen mittelozeanischen Rücken kurz nach dem Gondwana-Aufbruch. Basierend auf der Kombination der Ergebnisse dieser Studie mit geologischen, geophysikalischen und geochemischen Daten aus der neueren Literatur wird dabei das Plumemodell favorisiert. Dieses Manuskript liegt dem Erfolgskontrollbericht als Anlage 1 bei.

Eine weiteres Manuskript, an dem unsere Arbeitsgruppe beteiligt ist, wurde von unseren Kolleginnen und Kollegen vom AWI bereits zur Publikation eingereicht:

Fischer MD, Uenzelmann-Neben G, Jacques G, Werner R (zur Veröffentlichung angenommen):
The Mozambique Ridge: a document of massive multi-stage magmatism. Geological Society of America Bulletin.

In dieser Arbeit werden die reflexionsseismischen Daten, die im Gebiet des Mozambiquerückens aufgenommen wurden, vorgestellt. Die Daten werden mit dem bereits publizierten seismostratigraphischen Modell nach Uenzelmann-Neben et al. (2011, South African Journal of Geology 114) korreliert. Über die Interpretation der reflexionsseismischen Daten werden vier magmatische Phasen unterschieden, welche Rücken von Norden über die Bildung von vier Subplateaus nach Süden aufgebaut haben. Diese vier magmatischen Phasen werden mit dem Model von König and Jokat (2010, Geophysical Journal International 180) verglichen. Darüber hinaus findet eine Abschätzung des ex/intrudierten magmatischen Volumens statt. Dieses Manuskript wird im Abschlussbericht von Frau Uenzelmann-Neben detailliert vorgestellt.

II.1.2. Ausbildungs- und Qualifizierungsarbeiten

Mehrere Studenten/innen wurden auf der Ausfahrt SO-232 in den Bereichen Bathymetrie und Gesteinsbeprobung, -ansprache und -dokumentation ausgebildet. Weiterhin hat Herr Burmeister (Universität Greifswald) im Rahmen von SO-232 SLIP eine Masterarbeit angefertigt (Betreuer: M. Meschede/ G. Uenzelmann-Neben), die sich mit der bathymetrischen Struktur des Mozambiquerückens und der möglichen tektonischen Interpretation dieser Strukturen auseinandersetzt. Als Basis hierfür dienten die bathymetrischen Daten, die während der Expedition SO-232 gewonnen wurden.

II.1.3. Weitere Ergebnisse

An einigen Teilaspekten der Daten wird noch gearbeitet, weitere Publikationen sind in Vorbereitung. Einige Ergebnisse der vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen von SO-232 SLIP, die noch nicht in Manuskriptform vorliegen, sind in Abschnitt 2 des Erfolgskontrollberichts zusammengefasst.

II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Teilprojekts waren (A) Material (fahrtbezogenes Verbrauchsmaterial), (B) die TvöD-Stelle für Dr. Guillaume Jacques (E13, 75%, AG Hoernle/GEOMAR), (C) studentische Hilfskräfte, (D) Reisekosten, sonstige unmittelbare Vorhabenskosten wie (E) die Vergabe von Aufträgen und (F) Transportkosten.

(A) Position 0813 Material: Die bewilligten Mittel wurden wie beantragt für fahrtbezogenes Verbrauchsmaterial und Material für die Probendokumentation ausgegeben.

(B) Position 0831 Gehälter: Die bewilligten Mittel für Wissenschaftler wurden ursprünglich als Doktoranden/innen-Stelle beantragt, wurden aber mit Zustimmung des Projektträgers für eine Postdoc-Stelle für Herrn Dr. Jacques verwendet. Diese Änderung war kostenneutral. Ohne die Mitarbeit des wissenschaftlichen Mitarbeiters wäre das Vorhaben nicht durchführbar gewesen. Herr Dr. Jacques hat an der Ausfahrt SO-232 teilgenommen sowie an deren Vor- und Nachbereitung mitgewirkt. Im weiteren Projektverlauf hat Herr Dr. Jacques bei der Aufbereitung der Gesteinsproben für die verschiedenen Analysemethoden, bei der Analytik und bei der Auswertung, Interpretation, Modellierung und Synthese der Daten sowie bei der Abfassung von Publikationen intensiv mitgewirkt.

(C) Position 0832 Löhne: Die bewilligten Mittel für studentische Hilfskräfte wurden entsprechend dem Antrag verwendet. Als studentische Hilfskräfte waren Frau Anne Peukert und Frau Gesine Welschmidt im Projekt angestellt. Die studentischen Hilfskräfte haben in erster Linie bei der Aufbereitung der Proben mitgewirkt, Frau Peukert hat zudem an der Ausfahrt SO-232 teilgenommen und uns bei deren Vor- und Nachbereitung unterstützt. Die studentischen Hilfskräfte haben somit die wissenschaftlichen Mitarbeiter wesentlich unterstützt und entlastet. Beide haben damit zum Erfolg des Vorhabens beigetragen.

(D) Position 0838 Reisekosten: Die bewilligten Mittel wurden wie beantragt für Dienstreisen der Projektmitarbeiter im In- und Ausland verwendet. Dazu zählen die An- und Abreise zur Expedition SO-232 sowie die Teilnahme an Tagungen im Inland (Sonne-Statusseminar, Geoberlin) und Ausland (AGU Herbsttagung).

(E) Position 0855 sonstige unmittelbare Vorhabenskosten/Aufträge an Dritte: Es wurden neben der Anfertigung von Gesteinsdünnschliffen vor allem analytische Arbeiten im Rahmen der vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen von SO-232 SLIP als Auftrag an Dritte vergeben. Die analytischen Arbeiten umfassten Haupt- und Spurenelementanalytik an Gesamtgesteinen (Röntgenfluoreszenzanalytik, ICP-MS). Die Anfertigung von Dünnschliffen und die Auftragsanalytik war, wie im Projektantrag und in den Abschnitten I.3 und II.1 dieses Berichts dargestellt, grundlegend für den erfolgreichen Abschluss des Vorhabens.

(F) Position 0855 sonstige unmittelbare Vorhabenskosten/Transporte: Transportkosten wurden wie beantragt und bewilligt für den Transport eines Containers nach Durban für die SO-232 Expedition verwendet. Ferner wurde ein Teil des auf der Ausfahrt gewonnenen Probenmaterials vom Endhafen Kapstadt nach Kiel per Luftfracht geschickt, da die Container für SO-233 und SO-234/1 an Bord des FS. Sonne verblieben. Damit wurde sichergestellt, dass direkt im Anschluss an die Ausfahrt mit der Probenpräparation und Analytik begonnen werden konnte.

II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die wichtigsten Arbeitsschritte (neben Nachwuchsförderung etc.) waren die (1) Literaturarbeiten; (2) Probennahme und Datenerfassung während der SO-232-Expedition; (3) Evaluierung, Auswahl und Aufbereitung der Proben; (4) umfangreiche analytische Arbeiten; (5) Evaluierung, Auswertung und Synthese der dabei anfallenden Daten sowie Synthese dieser Daten mit bereits publizierten Daten und (6) die Präsentation der Ergebnisse auf Tagungen, in Berichten und in wissenschaftlichen Publikationen. Diese Arbeiten wurden von den Antragstellern und ihrer Arbeitsgruppe, dem im Projekt angestellten Mitarbeiter (Dr. Jacques) und Studenten/innen in Zusammenarbeit mit unseren Kooperationspartnern und Auftragnehmern geleistet und waren notwendig, um die vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen von SO-

232 SLIP erfolgreich abzuschließen. Alle diese Arbeiten führten zu Ergebnissen, die wiederum zum erfolgreichen Abschluss von SO-232 SLIP beitrugen, und waren somit angemessen. Einige Arbeitsschritte von besonderer Notwendigkeit sind im Folgenden kurz dargestellt:

Im Rahmen der geologischen Untersuchungen wurden in der Auswertephase zunächst Dünnschliffe von nahezu allen während SO-232 gewonnenen Proben angefertigt und mikroskopiert. Die Anfertigung der Dünnschliffe und die Mikroskopie waren unbedingt notwendig, da sie nicht nur zur Bestimmung von Mineralbestand und der petrographischen Charakteristika der Proben diente, sondern auch um zu evaluieren, welche Proben für die verschiedenen Analysemethoden geeignet sind. Ferner waren sie für die Elektronenmikrosondeanalytik erforderlich.

Haupt- und Spurenelementdaten (RFA, ICP-MS) in Kombination mit mineralogischen Daten (Mikroskopie, EMS) dienten der Charakterisierung von Schmelz- und Fraktionierungsprozessen und -tiefen sowie des Aufschmelzungsgrades. Quellen, die bei der Bildung des Mozambiquerückens eine Rolle gespielt haben und Mischungen zwischen diesen Quellen wurden mittels der Analytik inkompatibler Spurenelemente und von Sr-Nd-Pb-Hf-Isotopenverhältnissen (TIMS bzw. Multikollektor-ICPMS) rekonstruiert. Immobiler inkompatibler Spurenelemente wie Nd oder Hf und deren Isotope lieferten uns hierzu auch dann Informationen, wenn von einigen Lokalitäten nur stark alterierte Gesteine gewonnen wurden. Die Mikrosondenanalytik an frischen Gläsern und Glaseinschlüssen erlaubte u.a. die Bestimmung der Volatilgehalte der Magmen. Durch $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Laserdatierungen an Kristallen, Gläsern und Matrixseparaten sollten die Alter der verschiedenen beprobten Einheiten des Basements des Mozambiquerückens bestimmt, um z.B. den zeitlichen Ablauf seiner Bildung zu rekonstruieren (was allerdings nur teilweise gelang, s. Erfolgskontrollbericht). Insgesamt lieferte die geochemische und geochronologische Analytik der Hartgesteinsproben (neben der Probennahme) den Großteil der für den erfolgreichen Abschluss der vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen erforderlichen Daten bzw. Informationen und war somit sowohl angemessen als auch zwingend notwendig.

II.4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit

Durch den erfolgreichen Verlauf des Forschungsvorhabens SO-232 SLIP haben wir neue Erkenntnisse über den Ursprung, die Entwicklung und die Morphologie des Mozambiquerückens sowie über den Ursprung von angereichten geochemischen Signaturen in MORB wie der Dupalanomalie gewonnen. Diese Themen besitzen in der geowissenschaftlichen Grundlagenforschung eine hohe Priorität (Integrated Ocean Drilling Program IODP, BMBF-Rahmenprogramm FONA / Fachprogramm GEO:N etc.), haben aber auch umwelt- und gesellschaftspolitische sowie wirtschaftliche Relevanz. Die hier zu untersuchten Prozesse haben z.B. einen erheblichen Einfluss auf chemische und physikalische Eigenschaften des Meerwassers oder das Klima. Um diese Zusammenhänge und deren Bedeutung und Folgen für die Umwelt besser zu erfassen, ist die Kenntnis der zugrundeliegenden geologischen Prozesse essentiell. Insgesamt sind somit aus diesem Arbeiten mittel- und langfristig verschiedene potentielle Nutzungen zu erwarten. Es kann z.B. eine wichtige Grundlage für weiterführende wissenschaftliche Projekte sein, die die Auswirkungen von magmatischer bzw. vulkanischer Aktivität auf die Menschheit untersuchen. Zum anderen können aus diesem Vorhaben aber auch umweltpolitische oder wirtschaftliche Programme resultieren, mit denen eine bessere Abschätzung der Folgen magmatischer bzw. vulkanischer Aktivität auf Umwelt, Klima und Weltwirtschaft erreicht werden soll. Weiterhin könnten wirtschaftliche Projekte zur Rohstoffexploration aus SO-232 SLIP resultieren, da für die zukünftige Abschätzung mineralischer Rohstoffe die Kenntnis der ihrer Bildung zugrunde liegenden vulkanischen, magmatischen und tektonischen Prozesse essentiell ist. Die Daten und Ergebnisse können weiterhin zu den aktuellen Fragen der Seerechtskonvention, der nachhaltigen Entwicklung beim marinen Management und für Risikoanalysen (Vulkanismus, Erdbeben) von den dafür zuständigen nationalen und internationalen Stellen genutzt werden. Wissenschaftlich haben sich intensivere Kooperationen mit nationalen und internationalen Institutionen ergeben, die im Rahmen zukünftiger Projekte fortgesetzt und weiter ausgebaut werden sollen. Dies betrifft insbesondere unsere langjährige Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern des AWI. Die Veröffentlichung der Ergebnisse in der Fachliteratur hat zudem auch einen Werbeeffekt für die

deutsche Meeresforschung, aus dem Nachfrage nach Expertise, Verfahren und Instrumenten erwachsen mag. Dementsprechend wurden bzw. werden die Ergebnisse aus SO-232 in der internationalen Fachliteratur publiziert und damit allgemein zugänglich gemacht. Weiterhin wurden Daten und Ergebnisse, soweit sinnvoll (Bathymetrie, PARASOUND, DSHIP, Stationsdaten etc.), an internationale Datenbanken transferiert (z.B. BSH, PANGAEA, OSIS Kiel). Gesteinsproben, Separate, Gesteinspulver etc. werden im Zentralen Probenlager des GEOMAR archiviert und können zukünftig über OSIS recherchiert werden. Zusätzlich wurden Datensätze den Anrainerstaaten zur Verfügung gestellt. Dort können die Daten dazu beitragen, die Voraussetzungen für die Nutzung der Meeresressourcen und die Bekämpfung der marinen Umweltprobleme in diesem Bereich zu verbessern.

Ferner flossen Daten und Beobachtungen einer Erkundungsstudie, die während SO-232 SLIP am dem Mozambiquerücken benachbarten Agulhasplateau durchgeführt wurde, in den International Ocean Discovery Program (IODP) Bohrvorschlag "Drilling a transect from the Agulhas Plateau into the Transkei Basin: A keyhole into the Cretaceous Hothouse World" von Frau Uenzelmann-Neben et al. (unter Beteiligung von u.a. K. Hoernle und R. Werner) mit ein. Dieser Bohrvorschlag wurde mittlerweile vom Scientific Evaluation Panel mit "good to excellent" bewertet und an das Joides Resolution Facility Board zur Aufnahme in der Fahrtplanung weitergereicht.

II.5. Fortschritt bei anderen Stellen

Die Fortschritte bei anderen Stellen sind unter Abschnitt II.1. "Darstellung der Ergebnisse" bzw. im Erfolgskontrollbericht zusammengefasst.

II.6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Artikel (peer-reviewed)

Fischer MD, Uenzelmann-Neben G, Jacques G, Werner R (zur Veröffentlichung angenommen):

The Mozambique Ridge: a document of massive multi-stage magmatism. Geological Society of America Bulletin

Jacques, J, Hoernle K, Hauff F, Werner R, Uenzelmann-Neben G, Garbe-Schönberg D, Fischer M (in Vorbereitung) Nature and Origin of the Mozambique Ridge, SW Indian Ocean

Es sind weitere Publikationen über die im Erfolgskontrollbericht kurz zusammengefassten Ergebnisse in Vorbereitung.

Vorträge und Poster auf Tagungen

Jacques G, Werner R, Hauff F, Uenzelmann-Neben G, Hoernle K (2015) Hintergrund und erste Ergebnisse der vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Arbeiten von SO-232 (SLIP) am Mozambiquerücken (SW-Indik). Tagungsband Statusseminar Meeresforschung mit FS SONNE Statusseminar, 12-13 Februar, 158-161, Vortrag

Jacques G, Werner R, Hauff F, Uenzelmann-Neben G, Hoernle K (2015) First Petrological-Geochemical results from SO-232 (SLIP) at the Mozambique Ridge (SW Indian Ocean), GeoBerlin, Berlin, 4 - 7 Oktober 2015, Vortrag

Jacques G, Werner R, Hauff F, Uenzelmann-Neben G, Hoernle K (2015) Preliminary Geochemical Results from the Mozambique Ridge, SW Indian Ocean: AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 14-18, Abstract V23B-3132, Poster, Tuesday, 15 December 2015 13:40 - 18:00, Moscone South - Poster

Uenzelmann-Neben G, Huber BT, Bohaty S, Geldmacher J, Hoernle K, MacLeod KG, Poulsen CJ, Voigt S, Wagner T, Watkins D, Werner R, Westerhold T (2016) Drilling the Agulhas Plateau and Transkei Basin to reconstruct the Cretaceous - Paleocene Tectonic and Climatic evolution of the Southern Ocean Basin. International Geological Congress, Cape Town, South Africa, 28 August - 4 September 2016, Vortrag

Sonstiges

IODP-Antrag

Uenzelmann-Neben G, Huber BT, Bohaty S, Geldmacher J, Hoernle K, MacLeod KG, Poulsen CJ, Voigt S, Wagner T, Watkins D, Werner R, Westerhold T (2015) Drilling a transect from the Agulhas Plateau into the Transkei Basin: A keyhole into the Cretaceous Hothouse World, IODP proposal 834-Full2. JR Facility Board

Masterarbeit

Burmeister C (2014): Morphology and tectonic of the southern Mozambique Ridge. Institut für Geographie und Geologie. Ernst Moritz Arndt Universität, Greifswald, 67 p.

Danksagung

Wir danken dem BMBF für die gewährte Unterstützung und dem Projektträger PtJ-Rostock für die unbürokratische administrative Abwicklung. Weitere Mittel wurden durch GEOMAR für die vulkanologisch-geochronologisch-geochemischen Untersuchungen von SO-232 SLIP zur Verfügung gestellt, das Museum für Naturkunde Berlin stellte Mittel für die Fixierung und Auswertung der biologischen Beifänge in den Dredgen zur Verfügung.

Unser besonderer Dank gilt Kapitän Meyer sowie der Besatzung des FS. Sonne für ihre harte Arbeit, Professionalität, große Erfahrung, stete Hilfsbereitschaft und die sehr angenehme Arbeitsatmosphäre an Bord. Dies alles hat wesentlich dazu beigetragen, dass die Reise SO-232 erfolgreich verlief.

Den zuständigen Stellen Südafrikas danken wir für die Gewährung der Forschungsgenehmigung und dem Auswärtigen Amt und der Deutschen Botschaft für ihre Unterstützung in dieser Sache.

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1: Bescheinigungen BSH und Pangaea
- Anlage 2: Erfolgskontrollbericht (vertraulich)

Anlage 1

Nachweis, dass Daten dem BSH und Pangaea zur Verfügung gestellt wurden

BSH · Neptunallee 5 · 18057 Rostock

Dr. Gabriele Uenzelmann-Neben
Alfred-Wegener-Institut für
Polar- und Meeresforschung
Postfach 12 01 61
27515 Bremerhaven



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

Dienstszitz Rostock

**Bathymetriedaten der Reise SO-232
- Eingangsbestätigung**

Sehr geehrte Frau Dr. Uenzelmann-Neben,

die bathymetrischen Daten der Reise SO-232 und die dazugehörige
Metadatendokumentation waren am 23.05.2014 bei uns eingegangen.

Ein Sperrvermerk bezüglich der Weitergabe der Daten bis zum April
2018 ist eingetragen.

Vielen Dank für die Zusammenarbeit.

Mit diesem Anschreiben erhalten Sie auch den Datenträger (USB-Stick)
mit den bathymetrischen Daten der Reise SO-224 zurück.

Mit freundlichen Grüßen,

A handwritten signature in blue ink that reads 'Volkmar Leimer'.

Volkmar Leimer

Datum
28.05.2014
Durchwahl
+ 49 (0) 381 4563 - 604
AktENZEICHEN
(bitte bei Antwort angeben)
3127 / 2014 N1130

Neptunallee 5
18057 Rostock
Tel.: + 49 (0) 381 4563 - 5
Fax: + 49 (0) 381 4563 - 948
posteingang@bsh.de
www.bsh.de

Bankverbindung:
Bundeskasse Trier
Dienstszitz Kiel
Deutsche Bundesbank
BLZ 210 000 00
Kto.-Nr. 210 010 30

IBAN:
DE42 2100 0000 0021 0010 30
BIC: MARKDEF1210
Ust-ID DE811239341



Data Description

[Show Map](#) [Google Earth](#)

Citation: Dorschel, Boris; Jensen, Laura; Uenzelmann-Neben, Gabriele (2014): Swath sonar bathymetry during SONNE cruise SO232 (SLIP) with links to multibeam raw data files. *Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven*, doi:10.1594/PANGAEA.833090

Project(s): [Paleoenvironmental Reconstructions from Marine Sediments @ AWI \(AWI_Paleo\)](#)

Coverage: Median Latitude: -34.055521 * Median Longitude: 32.974691 * South-bound Latitude: -37.349815 * West-bound Longitude: 21.375986 * North-bound Latitude: -30.036804 * East-bound Longitude: 37.050610

Date/Time Start: 2014-03-31T21:12:59 * Date/Time End: 2014-05-11T05:53:07

Event(s): [SO232-track](#) * Latitude Start: -29.872100 * Longitude Start: 31.026800 * Latitude End: -33.906800 * Longitude End: 18.433700 * Date/Time Start: 2014-03-31T00:00:00 * Date/Time End: 2014-05-12T00:00:00 * Campaign: SO232 (SLIP) * Basis: Sonne * Device: Underway cruise track measurements (CT) * Comment: Durban - Cape Town

Comment: Multibeam data were collected during R/V Sonne cruise SO232 leading to Mozambique Ridge. Multibeam sonar system was Kongsberg Simrad EM-120. Data are unprocessed and may contain outliers and blunders and should not be used for grid calculations and charting projects without further editing. The raw multibeam sonar data in Simrad multibeam processing format (*.all) were recorded with Simrad SIS software running on Windows operating system. The dataset consists of 1547 files in which are compressed with ZIP (3 hours in one archive file). One dataset contains a measurement period of half an hour. Simrad data files can be processed using the software packages CARIS HIPS/SIPS or with the open source software package MB-System (<http://www.ideo.columbia.edu/res/pi/MB-System/>). Contact infobathy@awi.de for data access.



#	Name	Short Name	Unit	Principal Investigator	Method	Comment
1	DATE/TIME	Date/Time				Geocode
2	LATITUDE	Latitude				Geocode
3	LONGITUDE	Longitude				Geocode
4	Uniform resource locator/link to raw data file	URL raw		Dorschel, Boris	Swath-mapping system Simrad EM-120 (Kongsberg Maritime AS)	Kongsberg Simrad Multibeam Format, hdl:10013/epic.37979.d001

Size: 1547 data points

Download Data (login required)

Download dataset as tab-delimited text (use the following character encoding:)

[View dataset as HTML](#)

[Contact](#)