

# **Abschlußbericht des Vorhabens 03G0190A und B „SINDBAD I & II“**

**Zuwendungsempfänger:** Leibniz-Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR)  
Wischhofstr. 1-3  
24148 Kiel

und

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)  
Postfach 51 01 53  
30631 Hannover

**Förderkennzeichen:** 03G0190A (IFM-GEOMAR)  
03G0190B (BGR)

**Projektleiter:** Prof. Dr. Heidrun Kopp (IFM-GEOMAR)  
Dr. Christian Müller (BGR)

**Vorhabenbezeichnung:** SO 190 SINDBAD I & II

**Laufzeit des Vorhabens:** 01.09.2006 bis 31.12.2008 (IFM-GEOMAR)  
01.08.2006 bis 30.11.2008 (BGR)

**Berichtszeitraum:** 01.08.2006 bis 31.05.2009

## **1. Aufgabenstellung**

Im Rahmen des Forschungsprojektes SINDBAD (Seismische und geoakustische Untersuchungen entlang des Übergangs vom Sunda- zum Banda-Bogen) wurden marin-geophysikalische Untersuchungen mit FS SONNE vor dem östlichen Sundabogen und im Übergangsbereich zum Bandabogen vor Indonesien durchgeführt. Während der Fahrten SO 190 wurden - neben bathymetrischen und Potentialfeldmessungen – refraktionsseismische und reflexionsseismische Daten auf identischen Profilen mit dem Ziel gewonnen, strukturelle Wechselwirkungen zwischen Unter- und Oberplatte zu untersuchen.

## **2. Voraussetzungen**

Die SONNE-Fahrten SO190 I und II wurden in den Zeiträumen vom 09.10.2006 bis zum 09.11.2006 (BGR) sowie vom 10.11.2006 bis zum 24.12.2006 (IFM-GEOMAR) planmäßig und erfolgreich durchgeführt.

Ein regelmäßiger Austausch zwischen den Arbeitsgruppen in Hannover (BGR) und Kiel (IFM-GEOMAR) sowie die enge Zusammenarbeit und Absprache der Projektleiter bildete die Grundlage für den erfolgreichen Abschluss der wissenschaftlichen Arbeiten, die in den unten aufgeführten Publikationen detailliert dargestellt sind. Die Aufteilung der Datenbearbeitung auf die beiden Standorte Hannover und Kiel setzte einen koordinierten wissenschaftlichen Austausch voraus, der aufgrund der guten Kooperation der Arbeitsgruppen erfolgreich und effektiv umgesetzt werden konnte.

## **3. Planung und Ablauf**

Der vorgelegte Zeitplan wurde eingehalten.

## **4. Wissenschaftlich-technischer Stand**

Der wissenschaftlich-technische Stand ist im Antrag ausführlich dargelegt.

## **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Neben den Kollegen des Verbundprojektes SINDBAD waren Wissenschaftler aus Indonesien an den Ausfahrten beteiligt. Als Gastwissenschaftler hat Dr. Leonardo Seeber vom Lamont-Doherty Earth Observatory am ersten Fahrtabschnitt SO190 I teilgenommen.

Die Arbeiten des Vorhabens profitierten maßgeblich von einem Austausch mit laufenden sowie abgeschlossenen Projekten basierend auf FS SONNE-Fahrten entlang des Sunda-Kontinentrandes (SO137-139, SO179, SO186), so dass die Ergebnisse nicht nur im Hinblick auf das Untersuchungsgebiet, sondern im Rahmen des plattentektonischen Systems einzuordnen sind.

Die Daten des SINDBAD Projektes flossen zudem in die Modellierungen des GITEWS-Vorhabens zur Tsunami-Frühwarnung mit ein und unsere Arbeitsgruppen (BGR und IFM-GEOMAR) haben mit den Kollegen des GFZ Potsdam (S. Brune, A. Babeyko, S. Sobolev) zusammengearbeitet, um eine Abschätzung des Tsunamipotentials des Untersuchungsgebietes zu erarbeiten. Die Ergebnisse sind im Manuskript von S. Brune et al. dargelegt.

Die im SINDBAD Projekt datierten magnetischen Anomalien sind bei der FS SONNE-Fahrt SO199 nach Westen hin bis zum Investigator Ridge fortgesetzt und interpretiert worden. In der Region südlich des Arbeitsgebietes von SINDBAD werden die Anomalien in Zusammenarbeit mit der University von Sydney (A. Gibbons, D. Müller) neu interpretiert.

Eine weitere Zusammenarbeit hat sich mit der SE Asia Research Group des Royal Holloway College, London, entwickelt und fokussiert sich auf Untersuchungen der 'SE Asian Gateway Evolution'. U. a. werden die Ergebnisse des SINDBAD Projektes direkt in ein entsprechendes Symposium in London im Sept. 2009 einfließen (eingeladener Vortrag H. Kopp et al., Variations in subduction style offshore Java, SAGE2009 Conference - Southeast Asian Gateway Evolution, 14-17 September 2009: Royal Holloway University of London).

## **6. Eingehende Darstellung der wissenschaftlichen Ergebnisse**

Das Untersuchungsgebiet des SINDBAD-Projektes am Sunda-Banda-Bogen (Indonesien) stellt ein natürliches Labor da, um die Wechselwirkungen zwischen den tektonischen Strukturen der Unterplatte und der Segmentierung der Oberplatte zu untersuchen. Diese Prozesse wurden mittels einer seismischen Weitwinkeltomographie untersucht, für die ebenfalls die Informationen aus der Reflexionsseismik sowie Schweredaten berücksichtigt wurden. Die ozeanische Unterplatte südlich der Inseln Lombok und Sumba weist eine Mächtigkeit von 8.5-9.0 km auf. Tiefreichende Verwerfungen in der Nähe des Tiefseegrabens prägen die Kruste und gehen mit niedrigen Mantelgeschwindigkeiten von bis zu 7.5 km /s einher. Das Äußere Hoch ist durch seismische Geschwindigkeiten typisch für kompaktierte Sedimente charakterisiert und erfährt einen Volumenzuwachs hauptsächlich durch Unterplattungsprozesse. Die abtauchende Platte wird über eine Distanz von 70-100 km unterhalb des Vorderbogens verfolgt. Während das Lombok-Becken von einem serpentinisierten Mantelkeil unterlegt ist, sind ähnliche Strukturen seewärts der Insel Sumba nicht anzutreffen. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse ist im Manuskript von Planert et al., 2009, JGR zusammengefasst.

Der Übergang vom Sunda- zum Banda-Bogen stellt eine der wenigen Regionen weltweit dar, wo die Anfangsphase einer Kontinent-Inselbogen-Kollision beobachtet wird. Die Kollision des australischen Kontinents mit dem Inselbogen führt hier zu großen Überschiebungssystemen. Eine kombinierte Analyse und Interpretation der im Rahmen des SINDBAD-Projektes gewonnenen Refraktions- und Reflexionsdaten mit den Schweredaten konnte zum ersten Mal die komplexe Tiefengeometrie des Gebietes südlich der Insel Sumba abbilden. Der 10-12 km mächtigen australischen Kruste südlich des Timorgrabens steht nördlich davon der 22-24 km mächtige Sumba-Rücken gegenüber. Dazwischen findet sich ein etwa 130 km breites Akkretionsprisma. Die strukturelle Diversität dieses Transektes könnte exemplarisch für junge Kollisionssysteme beim Übergang von ozeanischer Subduktion zu Kontinent-Inselbogen-Kollision stehen. Die detaillierten Ergebnisse sind in der Veröffentlichung Shulgin et al., 2009, GRL, dargestellt.

Die Sedimentmächtigkeit auf der abtauchenden ozeanischen Lithosphärenplatte von wenigen hundert Metern und damit auch der Sedimenteintrag in das Subduktionssystem ist, im Vergleich zum westlichen Sundabogen vor Sumatra, äußerst gering. Das äußere Hoch liegt am östlichen Sundabogen gänzlich unterhalb des Meeresspiegels und die Ausprägung des äußeren Hochs bezüglich Tiefenlage und Volumen nimmt im Untersuchungsgebiet nach

Osten signifikant ab. Dieses ermöglichte eine gute Abbildung der Internstruktur des äußeren Hochs und auch der abtauchenden ozeanischen Lithosphärenplatte bis zu 70 km nördlich des Tiefseegrabens unterhalb des äußeren Hochs. Die reflexionsseismischen Daten zeigen, dass nicht nur der jüngste seewärtige Teil des äußeren Hochs tektonisch aktiv ist. Überschiebungsstörungen im gesamten äußeren Hoch stellen Migrationswege für Fluide von der Plattengrenze bis zum Meeresboden dar. Eine rezente tektonische Aktivität des gesamten äußeren Hochs wird auch durch deutlich verkippte Sedimentsequenzen in Hangbecken auf dem äußeren Hoch als auch an der seewärtigen Flanke des Lombok-Beckens dokumentiert. Dadurch ergeben sich Hinweise auf ein ähnlich hohes Erdbeben- und Tsunamirisiko wie am westlichen Sundabogen. Weitere Details sind in der Veröffentlichung Müller et al., 2008, EOS, aufgeführt.

Die Reflexionsseismischen Daten zeigen zudem, dass die seewärts des Tiefseegrabens durch die Krümmung der abtauchenden ozeanischen Kruste angelegten Abschiebungen nach dem Eintritt in das Subduktionssystem unterhalb des äußeren Hochs als Überschiebungen reaktiviert werden. Die in 5-10 km breite Segmente zerbrochenen Krustenblöcke bilden Duplexstrukturen, die von unten an dem Akkretionskeil angelagert werden und dadurch zum Wachstum des Akkretionskeils beitragen. Ein weiterer Hinweis auf die tektonische Aktivität des gesamten Subduktionskomplexes im Untersuchungsgebiet ergibt sich aus der Abbildung von Schlammdiapiren im östlichen Lombok-Becken. Eine Diapirstruktur erhebt sich etwa 40 m über den Meeresboden und steht in Verbindung mit einer seismisch transparenten Zone, welche Hinweise auf thermisch überprägte und mobile Sedimente im östlichen Lombok-Becken gibt. Weitere Details sind im Manuskript von Lüschen et al., 2009, Tectonophysics, dargestellt.

## **7. Fortschreibung des Verwertungsplans**

- Es sind keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen gemacht oder Schutzrechte erteilt worden.
- Wirtschaftliche Verwertungskonzepte sind derzeit nicht konkret.
- Wissenschaftliche Ergebnisse wurden in Publikationen und auf nationalen und internationalen Tagungen mit Kurzfassungen von Postern und Vorträgen verwertet. Diese sind Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsarbeiten und eröffnen bzw. vertiefen unsere internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit in der marinen Geophysik (aktive Kontinentalränder). Bisher erschienene und eingereichte Publikationen sind im Anhang gelistet. Publikationen mit peer-review Verfahren finden sich in Kopie im Anhang.
- Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche nächste Phase: Eine weitergehende Untersuchung des Messgebietes, die Lücken schließt und offene Fragen angeht, wäre aus unserer Sicht eine sinnvolle nächste Phase.

## **8. Ergebnisse von dritter Seite mit Relevanz zum laufenden Projekt**

- Wir stehen in engem Austausch mit internationalen Gruppen, die sich mit der Systemforschung an aktiven Kontinenträndern befassen und haben laufend Ergebnisse von dritter Seite in unsere Arbeiten integriert (z.B. neue Untersuchungen der Hikurangi-Zone des GNS Neuseeland (S. Henrys, R. Sutherland), die viele Korrelationen mit dem Äußeren Hoch im SINDBAD-Arbeitsgebiet aufweisen oder auch vulkanologische Untersuchungen auf Java (Macquarie-University, Sydney, H. Handley) um eine Anbindung an die onshore-Geologie zu ermöglichen.

## 9. Publikationen

### Begutachtete Publikationen:

- C. Mueller, H. Kopp, Y. S. Djajadihardja, U. Barckhausen, A. Ehrhardt, M. Engels, E. R. Flueh, C. Gaedicke, H. Keppler, R. Lutz, E. Lüschen, S. Neben, L. Seeber, D. P. S. Dzulkarnaen, From Subduction to Collision: The Sunda-Banda Arc Transition, EOS Transactions, Vol. 89, No. 6, P. 49-50, 2008.
- Shulgin, A., H. Kopp, C. Mueller, E. Lueschen, L. Planert, M. Engels, E. R. Flueh, A. Krabbenhoeft, and Y. Djajadihardja (2009), Sunda-Banda arc transition: Incipient continent-island arc collision (northwest Australia), Geophys. Res. Lett., 36, L10304, doi:10.1029/2009GL037533.
- E. Lueschen, C. Mueller, H. Kopp, M. Engels, R. Lutz, L. Planert, A. Shulgin, Y. Djajadihardja, Structure, Evolution and Tectonic Activity of the Eastern Sunda Forearc, Indonesia, from Marine Seismic Investigations, Tectonophysics, in review, 2009.
- S. Brune, S. Ladage, A. Y. Babeyko, C. Mueller, H. Kopp, S. V. Sobolev, Submarine landslides at the eastern Sunda margin: observations and tsunami impact assessment, Natural Hazards, in review, 2009.
- L. Planert, H. Kopp, E. Lueschen, C. Mueller, E. R. Flueh, A. Shulgin, Y. Djajadihardja, A. Krabbenhoeft, Lower plate structure and upper plate deformational segmentation at the Sunda-Banda arc transition, Indonesia, resolved from the analysis of seismic and gravity data, submitted to JGR, 2009.

### Publikationen in Vorbereitung:

- Shulgin, A., H. Kopp, C. Mueller, L. Planert, E. Lueschen, E. R. Flueh, A. Krabbenhoeft, and Y. Djajadihardja, Geophysical investigations of the 1994 tsunamogenic earthquake slip area offshore Java.
- W. Weinrebe, H. Kopp, Globale Auslöser von Tsunamis: Erdbeben, Vulkane, Hangrutschungen, eingeladener Beitrag für 'Geologische Rundschau', Sonderheft 12/2009.
- Krabbenhöft, A., Weinrebe, W., Kopp, H., Flueh, E. R., Ladage, S., Djajadihardja, Y., Bathymetry in the Indian Ocean, Natural Hazards and Earth System Sciences, 2009.

### Vorträge / Poster:

#### **EGU-Jahrestagung, Wien, 19.-24. April 2009**

L. Planert, A. Shulgin, H. Kopp, E. Lueschen, C. Mueller, E. Flueh, Y. Djajadihardja, and M. Engels, Crustal structure of the Sunda-Banda arc transition: results from marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia

A. Shulgin, H. Kopp, C. Mueller, E. Lueschen, L. Planert, M. Engels, E.R. Flueh, A. Krabbenhoeft, and Y. Djajadihardja, The Australia - Indonesia continent to island arc collision: a case study of the Sunda-Banda Arc based on seismic and gravity modeling

#### **DGG-Jahrestagung, Kiel, 23.-26. March 2009**

Planert, L., H. Kopp, A. Shulgin, E. Lueschen, C. Mueller, E. Flueh, M. Engels, Y. Djajadihardja, Crustal structure of the Sunda-Banda arc transition: linking lower plate variability and forearc deformation

Shulgin, A., H. Kopp, C. Mueller, E. Lueschen, L. Planert, M. Engels, E.R. Flueh, A. Krabbenhoeft, and Y. Djajadihardja, The Sunda-Banda Arc Transition (northwest Australia): seismic and gravity modeling of the incipient continent-island arc collision

#### **SONNE Statusseminar, Bremerhaven, 12.-13. Feb. 2009**

- Christian Müller, Heidrun Kopp, Ewald Lüschen, Martin Engels, Lars Planert, Alexey Shulgin, Y. Djajadihardja, und die SINDBAD Arbeitsgruppe, Seismische und geoakustische Untersuchungen entlang des Übergangs vom Sunda- zum Banda-Bogen
- Lars Planert, Alexey Shulgin, Heidrun Kopp, Ewald Lüschen, Christian Müller, Ernst Flüh, Martin Engels, Y. Djajadihardja, und die SINDBAD Arbeitsgruppe, SO190 SINDBAD, Leg 2: Refraktionsseismische Untersuchungen entlang des Übergangs vom Sunda- zum Banda-Bogen
- Ewald Lüschen, Christian Müller und die SINDBAD Arbeitsgruppe, SO190 SINDBAD, Leg 1: Reflexionsseismische Untersuchungen entlang des Übergangs vom Sunda- zum Banda-Bogen
- AGU-Jahrestagung, San Francisco, 15.-19. Dec. 2008:**
- Planert, L., Kopp, H., Shulgin, A., Lueschen, E., Mueller, C., Djajadihardja, Y., Flueh, E., R., Engels, M., the SINDBAD Working Group: Crustal Structure of the Sunda-Banda Arc Transition: Linking Forearc Deformation and Lower Plate Variability VORTRAG
- Lueschen, E., Mueller, C., Kopp, H., Djajadihardja, Y., Ehrhardt, M., Engels, M., Lutz, M., Planert, L., Shulgin, A., Working Group: Sunda-Banda Arc Transition: Marine Multichannel Seismic Profiling POSTER
- Shulgin, A., Planert, L., Kopp, H., Mueller, C. Lueschen, E., Engels, M., Flueh, E. R., Djajadihardja, Y., SINDBAD Working Group, Sunda-Banda Arc Transition: Marine Wide-Angle Seismic Modeling POSTER
- International Geological Congress, Oslo, 6.- 14. Aug. 2008:**
- Shulgin, A., Planert, L., Kopp, H., Müller, C., Lüschen, E. and Flüh, E.R. Sunda-Banda Arc Transition: Wide-angle seismic modeling POSTER
- Seismix Meeting, 13th Internal. Symposium on 'Deep seismic profiling of the continents and their margins', June 8-13, 2008, Saariselkä, Finland**
- Shulgin, A., Planert, L., Kopp, H., Müller, C., Lüschen, E. and Flüh, E.R. Sunda-Banda Arc Transition: Wide-angle seismic modeling POSTER
- Lüschen, E., Müller, C., Kopp, H., Planert, L., Engels, M., Shulgin, A. and Djajadihardja, Y.S. Subduction along the Sunda-Banda Arc Transition VORTRAG
- Lüschen, E., Müller, C., Kopp, H., Planert, L., Engels, M., Shulgin, A. and Djajadihardja, Y.S. Sunda-Banda Arc Transition: Marine multichannel seismic profiling POSTER
- EGU-Jahrestagung, Wien, 13.-18. April. 2008:**
- Shulgin, A; Planert, L; Kopp, H; Müller, C; Lüschen, E; Flüh, E Subduction along the Sunda-Banda Arc Transition: Marine Wide-Angle Seismic Modelling POSTER
- Mueller, C.; Kopp, H.; Djajadihardja, Y.; Engels, M.; Flueh, E.; Gaedicke, C.; Lueschen, E.; Neben, S.; Planert, L.; Shulgin, A, Subduction along the Sunda-Banda Arc transition: Marine multichannel seismic profiling POSTER
- DGG-Jahrestagung, Freiberg, 3.-6. März 2008:**
- L Planert, A Shulgin, H Kopp, C Mueller, E Lueschen, M Engels, The Sunda-Banda Arc Transition: New Insights From Marine Wide-Angle Seismic Data Offshore Eastern Indonesia POSTER
- AGU-Jahrestagung, San Francisco, 10.-14. Dec. 2007:**
- H. Kopp, D. Hindle, Structure and Evolution of the Accretionary Margin of Java-Sumatra. Seismic Data and Numerical Modeling Comparisons VORTRAG
- L Planert, A Shulgin, \*H Kopp, C Mueller, E Flueh, E Lueschen, M Engels, M Dayuf Jusuf, The Sunda-Banda Arc Transition: New Insights From Marine Wide-Angle Seismic Data POSTER
- C Mueller, H Kopp, Y Djajadihardja, M Engels, E Flueh, C Gaedicke, E Lueschen, R Lutz, L Planert, A Shulgin, D D Soemantri, SINDBAD Working Group, The Sunda-Banda Arc Transition: New Insights from Marine Multichannel Seismic Data POSTER
- EGU-Jahrestagung, Wien, 15.-20. April. 2007:**
- Mueller, C.; Kopp, H.; Djajadihardja, Y. S.; Engels, M.; Flueh, E. R.; Gaedicke, C.; Lueschen, E.; Soemantri, D.; The SINDBAD Working Group, The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 1) POSTER
- Shulgin, A; Planert, L; Mueller, C; Flueh, E; Kopp, H; Krabbenhoeft, A; Lueschen, E; Yusuf, D; SINDBAD Working Group, The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 2) POSTER
- DGG-Jahrestagung, Aachen, 26.-29. März 2007:**
- Christian Müller, Heidrun Kopp, Yusuf Djajadihardja, Martin Engels, Ernst Flueh, Christoph Gaedicke, Ewald Lüschen, Dzulkarnaen D. P. Soemantri, SINDBAD Working Group, The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 1) POSTER
- Alexey Shulgin Lars Planert, Christian Müller, Ernst Flueh, Heidrun Kopp, Anne Krabbenhöft, Ewald Lüschen, M. Dayuf Yusuf, SINDBAD Working Group, The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 2) POSTER