

H U L A - I I

Interdisziplinäre Untersuchungen zur zeitlichen Einordnung des Hawaii-Emperor Knicks und dem Ursprung von Lithosphären Anomalien an der Musicians Seamount Kette

SO142

Abschlußbericht 2002

- 03G142A -

Berichtszeitraum: 1. Mai 1999 bis 31. Dezember 2001

E. R. Flüh, J. Phipps Morgan, C. Kopp, H. Kopp, W. Weinrebe

GEOMAR
Forschungszentrum für Marine Geowissenschaften
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Wischhofstraße 1 - 3
24148 Kiel

April 2002

Schlußbericht

1. Aufgabenstellung

Der Hauptteil der Aufgaben befaßt sich mit einem neuen Typ des Hot spot Vulkanismus, dessen weitgehende Bedeutung erst mit den neuen Karten der "vorhergesagten Topographie", basierend auf einer dichten Satellitenaltimetrie, deutlich geworden sind (z. B. Smith und Sandwell, 1996). Diese Karten zeigen im Pazifik eine Reihe von langgestreckten Rücken, die an Seamounts enden und zur Zeit ihrer Entstehung vermutlich eine Verbindung zu einem aktiven Rückensegment herstellten. Diese vulkanischen Strukturen sind besonders deutlich im Bereich der gut datierten Musicians Seamounts ausgebildet. Es sollten geophysikalische, geochronologische und geochemische Untersuchungen an der Musicians Seamountkette durchgeführt werden. Im Zeitraum von vor ~80-95 ma, als die in Nord-Süd Richtung verlaufende Spreizungsachse weniger als ~1000 km östlich des Hot spots lag, bewegte sich die Pazifische Platte hier in nordnordwestlicher Richtung (Azimuth ~320). Zwischen dem Hot spot und der Paläo-Spreizungsachse bildeten sich mehrere lange (bis zu 500 km) Ost-West verlaufende Rücken. Diese wurde bereits vor 20 Jahren von Morgan diskutiert (Vorschlag eines "zweiten Hot spot Insel-Typs", Morgan, 1978).

Die Musician Seamounts eignen sich besonders für solche Untersuchungen, da hier eine recht seltene Situation vorliegt: Die absolute Bewegungsrichtung der Pazifischen Platte (wie durch den Bewegungstrend der Musicians Seamounts von ~320° erkennbar) ist fast orthogonal zur relativen Bewegung der Pacific-Farallon Spreizung (wie sie sich durch die Richtung der Transformstörungen von ~80° abzeichnet). Daher kann die Wechselwirkung zwischen Spreizungsachse und Hot spot nicht durch einen späteren, Hot spot-Rücken induzierten Vulkanismus verfälscht werden, und wir bekommen ein sehr klares Signal der Wechselwirkung. Außerdem lagen für die Musicians Kette schon eine gute Datierung vor (Pringle, 1993) die mit Hilfe einer einfachen Altersprogression erstellt werden konnte, vielleicht deshalb, weil die Musicians aus kleinen, monogenetischen Vulkanen bestehen. Da die Musicians Seamounts bereits beprobt und datiert sind, wollten wir uns bei unseren geochemischen und geochronologischen Untersuchungen ganz auf die Beprobung und Datierung der länglichen Rücken konzentrieren. Refraktionsseismische Profile an ausgewählten Lokationen senkrecht zu den Rücken sollten Aufschluß über das eruptierte Volumen ergeben, und die seismischen Geschwindigkeiten zur lithologischen Interpretation herangezogen werden und Unterschiede zum benachbarten Ozeanbecken deutlich machen. Begleitende magnetische und vor allem bathymetrische Messungen sollten die Morphologie dieser Rücken detailliert aufschließen.

2. Voraussetzungen

Während der Ausfahrten mit FS SONNE (SO142, 30.05 bis 28.06.1999, Midway nach Honolulu) wurden die für die Untersuchungen notwendigen Daten gewonnen.

Gleichzeitig war ein biologisches Arbeitsprogramm Bestandteil der Fahrt. Die Erteilung der Forschungsgenehmigung erfolgte problemlos.

3. Planung und Ablauf

Im Bereich der Musician Seamounts wurden zwei Arbeitsgebiete ausgewählt, der Italienische Rücken im Norden und der Bach Rücken im Süden. Beide Rücken wurden mit Hydroakustik und Magnetik detailliert kartiert, durch zahlreiche Dredgezüge (insgesamt 13) intensiv beprobt und zur Untersuchung der Krustenstruktur wurden weitwinkelseismische Profile senkrecht zu den Rückenachsen vermessen.

Die detaillierten bathymetrischen Untersuchungen ergaben deutliche Unterschiede in den beiden bis zu 3000 m hohen Rücken. Der im Norden gelegene Italienische Rücken besteht aus mehreren en-echelon versetzten Segmenten, während der Bach Rücken weitaus homogener und gleichförmiger aufgebaut ist. Einzelne Seamounts zeigen ausgeprägte magnetische Anomalien von bis zu 400 nT. Entlang von drei langen und einem kürzeren seismischen Weitwinkelprofil wurden insgesamt 47 Ozeanboden Hydrophone (OBH) ausgebracht und nahezu 600 Profilkilometer mit zwei großen Airguns überschossen. Auf allen seismischen Profilen kann die Krustenstruktur von der umgebenden, ungestörten ozeanischen Kruste und den Rücken gut bestimmt werden.

An Bord wurde eine erste Datensicherung vorgenommen. Die Auswertung der Messungen erfolgte planmäßig in den beiden folgenden Jahren, Die Ergebnisse sind in Publikationen zusammengefaßt, die kürzlich bei Fachzeitschriften eingereicht wurden.

4. Wissenschaftlich-technischer Stand

Unser Wissen in bezug auf den Hot spot Vulkanismus ist in letzter Zeit nur langsam vorangekommen. Morgan (1978) stellte fest, daß bei vielen extrem langen, ausgedehnten vulkanischen Rücken Wechselwirkungen zwischen Hot spot und mittelozeanischem Rücken aufzutreten scheinen. Beispiele für diesen rätselhaften Typ des Meeresboden Vulkanismus sind der Rodriguez Rücken (Reunion Hot spot -Zentralindischer Rücken) und der Necker Rücken (Line Islands Hot spot - Pacific- Farallon Rücken), beide ~1000 km lang. Jüngst herausgegebene, auf Satellitenaltimetrie beruhende Karten der Erdschwere und der Meeresbodentopographie haben zu der revolutionären Erkenntnis geführt, daß diese Art der Wechselwirkung zwischen Hot spot und Rücken bei nah an mittelozeanischen Rücken gelegenen Hot spots weit verbreitet ist. Beispielsweise ist nunmehr klargeworden, daß viele der vorher den Musicians Seamounts zugerechneten Seamounts in Wirklichkeit verlängerte Rücken sind, die von der nord-südlichen Hot spot Kette am westlichen Rand des Musicians Gebietes ostwärts verlaufen. Dieser Typ des Vulkanismus scheint ausschließlich in Ozeanbecken aufzutreten, was möglicherweise auch der Grund dafür ist, daß dies die größten unerforschten vulkanischen Strukturen auf unserem Planeten sind. (Nur Flutbasalte scheinen diese vulkanischen Strukturen noch an Größe zu übertreffen, letztere lassen die für eine Hot spot Kette typischen Vulkane winzig erscheinen.)

Wir glauben, daß es vornehmlich zwei Gründe für den relativ geringen Fortschritt bei der Überarbeitung des Hot spot/Mantelplume Konzeptes gibt. Die Faktoren, die den

zeitlichen Ablauf und das Volumen des Vulkanismus (und mehrfachen, episodisch auftretenden Vulkanismus) entlang einer Hot spot Kette bestimmen, sind nicht hinreichend eingegrenzt, und wir wissen nicht, inwieweit die Lithosphäre und die obere Mantelstruktur das Maß des Magmatransports zur Erdoberfläche beeinflussen. Daher brauchen wir vor allem eine verlässliche Geochronologie an einer aussagekräftigen Anzahl von Hot spot Spuren über einen geologisch bedeutsamen Zeitraum. Außerdem müssen wir unsere Kenntnisse in bezug auf die verschiedenen Typen des mit Hot spots und Wechselwirkungen zwischen Hot spot und Rücken verbundenen Vulkanismus erweitern.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Altersbestimmungen für die SO100 Foundation Chain gewonnenen Proben zeigen, daß diese Kette als Ergebnis der Migration der Pazifischen Platte über dem stationären Foundation Plume gebildet wurde (O'Connor et al., 1998). Diese Altersdatierungen liefern die bisher beste Abschätzung für die absolute Bewegung der Pazifischen Platte während der letzten 21 ma. Sie zeigen ebenfalls auf, daß, während die Pazifisch-Antarktische Spreizungsachse näher an den Foundation Plume migrierte, sich eine Serie von langgestreckten Rücken zwischen dem Foundation Plume und der Pazifisch-Antarktischen Spreizungsachse ausbildete. Wir erwarten durch die Untersuchung der zeitlichen-räumlichen (und kompositionellen) Evolution dieser ausgedehnten Rücken neue Informationen über die Prozesse, die mit den Wechselwirkungen zwischen Plume und Spreizungsachse in Verbindung stehen. Momentan sind wir dabei, weitere Altersdatierungen an Proben, die während der L'ATALANTE-Fahrt 1997 (Maia et al., 1997) erhalten wurden, durchzuführen, um diese Untersuchung zu vervollständigen. Das SO100-Projekt zeigte auch, daß $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Datierungen von Proben, die an isolierten Seamounts aufgenommen wurden, ein besseres Abbild der Plattenbewegung liefern als massive Hot spot Rücken, wie die Hawaii-Emperor Kette. Eine weitere Ähnlichkeit zwischen der Foundation und der Musicians Kette besteht in ihrer Bildung durch einen relativ schwachen Plume (wie durch die Größe ihrer vulkanischen Spuren zu ersehen ist). Dies resultierte in der Bildung vereinzelter vulkanischer Strukturen.

Die Migrationsrate des Vulkanismus längs der Musicians Seamount Kette ist linear für das Intervall zwischen 96 und 83 ma, wie auf der Basis der Verteilung der $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Altersbestimmungen gezeigt werden konnte (Pringle, 1993). Dies liefert eine verhältnismäßig gute Abschätzung für die Richtung und Geschwindigkeit der Pazifischen Platte über den Musicians Hot spot. Gemessene Alter an Proben von den Enden eines der Musicians Rücken (z.B. Bach Ridge) legen nahe, daß es als einzelne, zeitgleiche Struktur (75 ma) (Pringle, 1993) gebildet wurde (Abbildung 2). Dieser ausgedehnte Rücken setzt sich nach Osten von der Musicians Kette zur angenommenen Position der Pazifik-Farallon Spreizungsachse (Sager und Pringle, 1987) fort. So könnte, wie im Falle der Foundation Kette, der Fluß von Plume-Asthenosphäre in Richtung einer Spreizungsgrenze die Formation von ausgedehnten Rücken zwischen einem Intraplattenplume und Spreizungszentren erklären.

5. Zusammenarbeit

Während der Laufzeit des Projektes gab es eine stetige und fruchtbare Zusammenarbeit mit den an der Fahrt beteiligten Geochemikern, die auch darüberhinaus fortgesetzt werden wird.

6. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse sind in Publikationen eingeflossen, weitere Veröffentlichungen sind in Vorbereitung (siehe 6.1). Auf mehreren Tagungen wurde über erste Ergebnisse und Zwischenresultate berichtet (siehe 8). Es besteht ein großes Interesse an unseren Ergebnissen, wie durch viele Nachfragen nach Vorabkopien der Publikationen belegt.

6.1 Anlage 1, Preprint der Arbeit:

Kopp, H., Kopp, C., Weinrebe, W., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., Morgan, W. J., 2002: Fossil Hotspot-Ridge Interaction in the Musicians Seamount Province: Geophysical Investigations of Hotspot Volcanism at Volcanic Elongated Ridges, to be submitted to Journal of Geoph. Res.

In diesem Manuskript werden die Ergebnisse der Weitwinkel-Tomographie vorgestellt, sowie die neu gewonnenen Erkenntnisse aus der bathymetrischen Kartierung im Zusammenhang mit der Rückenentstehung und der Altersbestimmung der ozeanischen Kruste diskutiert.

7. Ergebnisse Dritter

Die Ergebnisse der Bearbeitung des gewonnenen Probenmaterials zur Petrologie und Geochemie der Krustengesteine sowie zur Biolumineszenz von Tiefseefischen wurden in getrennten Abschlußberichten dargelegt.

8. Liste der Vorträge und Veröffentlichungen

Vorträge/Poster:

Christian Kopp, Ernst R. Flueh, Jason Phipps Morgan, Ingo Grevemeyer, HULA Science Team, Vortrag: Fossil Hotspot - Ridge Interaction in the Musicians Seamount Province: New Seismic Data and First Results of the HULA Project. AGU Meeting, December 1999.

Jason Phipps Morgan, Wilhelm Weinrebe, Christian Kopp, Ernst R. Flueh, Ingo Grevemeyer, Hajnal Borus, Roger Hekinian, Camilla E. Larsen, Heidrun Lelgemann, Suzanne N. Lyons, W. Jason Morgan, John O'Connor, Yucheng Pan,

Thimo Stender, Fritz Wolter, Poster: Morphology and Structure of two 400 km-long Volcanic Ridges in the Musicians Seamount Province; AGU Meeting, December 1999.

Phipps Morgan, J., Weinrebe, W., Kopp, C., Flueh, E. R., Grevemeyer, I., Borus, H., Hekinian, R., Larsen, C. E., Lelgemann, H., Lyons, S. N., Morgan, W. J., O'Connor, J., Pan, Y., Stender, T., Wolter, F., Poster: Morphology and Structure of two 400 km-long Volcanic Ridges in the Musicians Seamount Province; DGG Meeting, March, 2000.

Kopp, C., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., Grevemeyer, I., HULA Science Team, Poster: Fossil Hotspot - Ridge Interaction in the Musicians Seamount Province: New Seismic Data and First Results of the HULA Project; DGG Meeting, March, 2000.

Phipps Morgan, J., Weinrebe, W., Kopp, C., Flueh, E. R., Grevemeyer, I., Borus, H., Hekinian, R., Larsen, C. E., Lelgemann, H., Lyons, S. N., Morgan, W. J., O'Connor, J., Pan, Y., Stender, T., Wolter, F., Poster: Morphology and Structure of two 400 km-long Volcanic Ridges in the Musicians Seamount Province; EGS Meeting, April, 2000.

Kopp, C., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., Grevemeyer, I., HULA Science Team, Poster: Fossil Hotspot - Ridge Interaction in the Musicians Seamount Province: New Seismic Data and First Results of the HULA Project; EGS Meeting, April, 2000.

Kopp, C., Phipps Morgan, J., Talk: Is the En-echelon Formation of Volcanic Elongated Ridges due to Interacting 'Dike-like' Magma Propagation away from Discrete Volcanic Centers?; AGU Meeting, Dec, 2000.

Kopp, C., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., HULA Science Team, Talk: The Internal Structure of Volcanic Elongated Ridges: 2D-Tomographic Inversion of Wide-Angle Seismic Data from the Musicians Seamounts; AGU Meeting, Dec, 2000.

Kopp, C., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., HULA Science Team, Poster: Welchen Einfluß hat die Wechselwirkung zwischen Mantelplume und ozeanischem Spreizungszentrum auf die Krustenstruktur an vulkanischen Rücken der Musicians Seamounts?; SONNE Statusseminar, Hannover, March, 2001

Kopp, C., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., HULA Science Team, Poster: 2D-tomographische Inversion weitwinkelseismischer Daten von den Musicians Seamounts: Der innere Aufbau vulkanischer langgestreckter Rueden; DGG-Tagung, March, 2001.

Kopp, C., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., HULA Science Team, Poster: Volcanic elongated ridges built by hotspot-ridge interaction: 2D seismic tomography in the Musicians seamounts region; EGS Meeting, April, 2001.

Publikationen:

Flueh, E. R., O'Connor, J., Phipps Morgan, J., and Wagner, J., 1999: Cruise report SO142 - HULA; GEOMAR Report No. 90, Kiel, 224pp.

Kopp, H., Kopp, C., Weinrebe, W., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., Morgan, W. J., 2002: Fossil Hotspot-Ridge Interaction in the Musicians Seamount Province: Geophysical

Investigations of Hotspot Volcanism at Volcanic Elongated Ridges, to be submitted to Journal of Geoph. Res.

Literaturverzeichnis

Maia M., and scientific party, The FOUNDATION HOTLINE Cruise: past and recent ridge-hotspot interaction zones in the South Pacific, *Interridge News*, 6, 36-39, 1997.

Morgan, W.J., Plate motions and deep mantle convection, *J. Geophys. Res.*, 83, 5355-5360, 1978.

O'Connor, J.M., P. Stoffers, and J. R. Wijbrans, Migration rate of volcanism along the Foundation Chain, SE Pacific, *in press for Earth Planet. Sci. Lett.*, 1998.

Pringle, M.S., Age progressive volcanism in the Musicians seamounts: A test of the hotspot hypothesis for the Cretaceous Pacific, in *Geophys. Monograph 77*, edited by M.S. Pringle, W.W. Sager, W. Sliter, and S. Stein, AGU, Washington, 1993.

Smith, W.H.F., and D. Sandwell, Predicted bathymetry: New global topography from satellite altimetry, *EOS Trans. AGU*, 77-46, F315, 1996.

Danksagung

Wir danken dem BMFT für die gewährte Unterstützung und dem Projektträger BEO-Warnemünde für die unbürokratische administrative Abwicklung. Besonderer Dank gilt Kapitän H. Andresen und der Besatzung des FS SONNE für ihre Kooperation während der Ausfahrt.

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1, Peprint der Arbeit:

Kopp, H., Kopp, C., Weinrebe, W., Flueh, E. R., Phipps Morgan, J., Morgan, W. J., 2002:
Fossil Hotspot-Ridge Interaction in the Musicians Seamount Province: Geophysical
Investigations of Hotspot Volcanism at Volcanic Elongated Ridges,
to be submitted to J. Geophys. R.

Erfolgskontrollbericht

1. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms

Das Vorhaben ist eingebettet in das Programm Meeresforschung und Meerestechnik der Bundesregierung und berührt die unter 4.1.1 Geowissenschaftliche Grundlagenforschung genannten Aufgaben mit dem besonderen Schwerpunkt der Prozesse an Kontinentalrändern.

2. Wissenschaftlicher und technischer Erfolg des Vorhabens

Die wissenschaftlichen Erfolge des Projektes sind in dem dem Schlußbericht beigelegten Manuskript sowie dem Fahrtbericht ausführlich beschrieben. Auf zahlreichen Tagungen wurde über das Projekt berichtet, und weitere Arbeiten, die auf den vorgelegten Ergebnissen aufbauen, wurden bereits initiiert.

3. Finanzierungs- und Zeitplan

Der im Antrag vorgestellte Finanzierungs- und Zeitplan wurde eingehalten.

4. Verwertbarkeit der Ergebnisse und die Verwertungsmöglichkeiten

Die gewonnenen Ergebnisse stellen die Grundlage für eine Reihe von weiterführenden Programmen dar, mit deren Realisierung teilweise bereits begonnen wurde. Dabei handelt es sich vornehmlich um rein wissenschaftliche Zielsetzungen, die jedoch auch von unmittelbarer Bedeutung für die seismische Risikoabschätzung der betroffenen Region sind.

5. Erfindungen und Schutzrechtsanmeldungen

Diese wurden nicht geltend gemacht.

6. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Keine.

Kurzfassung:

Das Hauptziel des Vorhabens war es, ein besseres Verständnis des Aufbaus der vulkanischen Rückenstrukturen der Musicians seamount Region nördlich von Hawaii zu erlangen.

Bathymetrische, magnetische und seismische Weitwinkeldaten wurden im Rahmen des Projektes HULA SO142 aufgenommen. Die Krustenstruktur der vulkanischen Rücken läßt sich aus den Daten ableiten und ermöglicht somit ein besseres Verständnis der Evolution dieser Strukturen. Hauptergebnisse sind:

- 1) Die Rücken sind aufgrund der Wechselwirkungen zwischen dem Euterpe-Hotspot und dem Spreizungszentrum der Pazifischen Platte entstanden.
- 2) Effusiver Vulkanismus ist der dominierende Prozess während der Rückenentstehung.
- 3) Die Rücken sind oberhalb eines sublithosphärischen Schmelzkanals entstanden, der den Hotspot und das Spreizungszentrum an deren jeweiligen Positionen verband.
- 4) Die besondere tektonische Geometrie des Untersuchungsgebietes erlaubt eine Abschätzung des ozeanischen Krustenalters in diesem Teil des Pazifiks, das aufgrund der langen magnetischen Ruhephase während der Kreide bisher umstritten war.

Abstract:

The main objective of the project was to reach a better understanding of the crustal structure of the volcanic elongated ridges in the Musicians seamount region north of Hawaii.

Bathymetric, magnetic, and seismic wide-angle data were acquired within the scope of the project HULA SO142. The data provided the basis for investigations of the crustal structure of the volcanic edifices, which allow a better understanding of the evolution of the volcanic ridges.

The main results are:

- 1) The ridges were built due to hotspot-ridge interaction between the Euterpe Hotspot and the Pacific-Farallon spreading axis.
- 2) Effusive volcanism was detected to be the dominating process during the ridge evolution.
- 3) The elongated ridges evolved ontop of a sub-lithospheric melt channel connecting the hotspot and spreading center.
- 4) The unique tectonic geometry of the study area offers some constraint on the age of the oceanic crust, which has long been enigmatic as it was created during the Cretaceous quiet zone.