

M54/2: 1. Wochenbericht , 13. 8. 2002 – 19. 8. 2002

Während der Meteor Expedition M54/2 werden vor allem geochemische und thermische Untersuchungen zum Fluidtransport im Fore-Arc der Mittelamerikanischen Subduktionszone durchgeführt. Die wissenschaftliche Crew an Bord von FS Meteor setzt sich dementsprechend im wesentlichen aus Mitgliedern des neuen Kieler SFB 574 („Volatile und Fluide in Subduktionszonen“) und der Arbeitsgruppe von Prof. H. Villinger aus Bremen zusammen, die den Wärmestrom detailliert untersuchen wird.

Am Morgen des 13. August verließ FS Meteor wie geplant den Hafen von Caldera in Costa Rica. Nach einem kurzen Transit von ca. 15 Stunden erreichten wir unser erstes Arbeitsgebiet vor Nicaragua. In diesem Gebiet ist die ozeanische Platte durch Horst und Graben Strukturen gekennzeichnet, die parallel zur Tiefseerinne verlaufen. Seismische Untersuchungen der Geophysiker vom GEOMAR zeigten, daß diese Strukturen mit tiefen Störungen assoziiert sind, welche die gesamte ozeanische Kruste durchschneiden und bis in den unterliegenden Mantel reichen. Die seismischen Daten lassen zudem vermuten, daß das Mantelgestein in den Störungen durch die Reaktion mit Meerwasser in Serpentin umgewandelt wurde. Bei dieser Reaktion entsteht Methan, das möglicherweise durch aufsteigende Fluide in das Bodenwasser freigesetzt wird. Weiterhin werden durch die Reaktion große Wärmemengen gebildet, die eine hydrothermale Zirkulation von Meerwasser durch das Gestein induzieren können.

Auf insgesamt 4 CTD-Einsätzen beprobten wir die untere Wassersäule und analysierten die gewonnenen Proben auf gelöstes Methan. Leider ergaben diese Messungen nur Hintergrundwerte. Es gelang uns also nicht die postulierten Methan-Austrittsstellen zu lokalisieren. Im Gegensatz dazu lieferten die Wärmestrom-Messungen in den Horst und Graben Strukturen sehr interessante Ergebnisse. Sie zeigten ungewöhnlich niedrige Werte, die den Schluß zulassen, daß der größte Teil der Wärme nicht konduktiv sondern konvektiv aus dem ozeanischen Basement abgeführt wird. Dieser Befund weist wiederum daraufhin, daß hier Meerwasser in einem aktiven Zirkulationssystem durch die Gesteine der ozeanischen Kruste fließt. Die Zirkulation kann sowohl durch die Restwärme der hier ca. 20 Millionen Jahre alten Kruste als auch durch die exotherme Serpentinisierung angetrieben werden. Die Fluid-Austrittsstellen, an denen es zu erhöhtem Wärmestrom kommt, konnten wir leider nicht lokalisieren. Weitere geothermische Messungen wurden auf einem Profil über den Kontinentalhang in Wassertiefen von über 5000 m bis zu 700 m durchgeführt.

Weiterhin konnten wir in einer Reihe von Schwerelot- und Kolbenlot-Einsätzen Sedimente vom Schelf, Kontinentalhang und aus der Tiefseerinne bergen. Es gelang uns in den gewonnenen Sedimentkernen insgesamt 12 unterschiedliche Aschenlagen zu identifizieren. Mit diesem Probensatz können wir die Geschichte des explosiven Vulkanismus in Nicaragua rekonstruieren und damit ein wichtiges Teilziel des SFB 574 erfüllen. Außerdem wird uns die resultierende Tephrochronologie einen sehr wertvollen Rahmen für die zeitliche Einordnung der Sedimente liefern.

Die Porenwasser-Untersuchungen geben erste Hinweise auf diagenetische Prozesse, die in den untersuchten Sedimenten ablaufen. Sulfid- und Methanmessungen zeigen, daß die Diagenese in den Sedimenten der Tiefseerinne am intensivsten verläuft. Die oberen 10 Meter der Sedimentsäule sind hier durch terrigene, überwiegend feinkörnige Turbiditablagerungen geprägt und es kommt bereits in wenigen Metern Sedimenttiefe zur Methanbildung. Auf dem Schelf, wo überwiegend grobkörniges Sediment abgelagert wird, sind die Umsatzraten dagegen wesentlich geringer. Hier konnten wir mit Hilfe von Chloridmessungen eine signifikante Aussüßung an der Kernbasis nachweisen, die von einem starken Rückgang in der Alkalinität begleitet wurde. Diese ungewöhnlichen Ergebnisse könnten durch den Austritt von Grundwasser erklärt werden. In-situ Messungen der Ausstromraten auf dem Schelf von Costa Rica, die von amerikanischen Kollegen durchgeführt wurden, weisen ebenfalls in diese Richtung.

Die technischen Systemen zur Probengewinnung und Analyse laufen mittlerweile alle einwandfrei, die Wetterbedingungen sind günstig und die Stimmung ist gut, so daß wir den kommenden Wochen erwartungsvoll entgegen blicken.

Klaus Wallmann

M54/2: 2. Wochenbericht , 20. 8. 2002 – 26. 8. 2002

Die zweite Woche der M54/2-Expedition stand ganz im Zeichen der sedimentologischen, geochemischen und thermischen Untersuchungen am Mound Culebra. Diese ca. 0.8 nm lange und 0.5 nm breite Struktur liegt am nördlichen Kontinentalhang von Costa Rica in einer Wassertiefe von 1550 m bis 1650 m. Sie erhebt sich um ca. 100 m über den benachbarten Meeresboden und ist an der Spitze mit Karbonaten bedeckt. Ursprünglich wurde aufgrund der Morphologie angenommen, daß die Erhebung ein Schlammvulkan sei. Untersuchungen mit dem geschleppten Videoschlitten OFOS während der RV Sonne Expedition 163 (SO 163) zeigten jedoch, daß der Hügel nicht mit Schlammflüssen sondern mit den gleichen terrigenen Sedimenten bedeckt ist, die auch in der Umgebung den Meeresboden prägen. Während dieser Sonne Expedition wurden an der Hügelspitze neben ausgedehnten Karbonat-Feldern auch Vent-Muscheln und andere Faunen angetroffen, die eindeutig den Austritt von methan- und sulfidreichen Fluiden anzeigen. Die Methanfreisetzung konnte durch den Nachweis von hohen Methankonzentrationen im Bodenwasser bestätigt werden.

Unsere Untersuchungen sollten die Frage klären, ob der Mound Culebra ein Schlammvulkan ist oder nicht und zielten weiterhin darauf ab, das Fluidregime an dieser Erhebung genauer aufzuklären. Insgesamt gelang es uns, mit dem Schwerelot 8 Sedimentkerne am Top, Hang und Fuß des Mounds zu bergen. Während am Fuß nur homogene Tone gefunden wurden, waren die Ablagerungen sowohl an der Flanke als auch auf dem Gipfelplateau stark deformiert und offenkundig das Produkt diapirisch aufgedrungenen Schlamms. Sie zeigten, unterhalb einer dünnen Sedimentdecke, chaotische Schlammablagerungen mit bis zu faustgroßen Klasten aus Tonstein und karbonatisiertem Tonstein. Die Mehrzahl der Tone war stark überkonsolidiert, was für Aufstieg aus großer Tiefe spricht. Rasche Wechsel zwischen klastreichen und klastarmen Lagen lassen vermuten, daß der Mound teilweise auch durch die Ablagerung von Schlammflüssen aufgebaut wurde. Sogenannte scaly clays zeigten Harnische auf Scherflächen und Hydrofrakturen, die zum Teil als Aufstiegsschlote für wasserreichen Silt dienten, der eine bis zu 15% höhere Porosität aufwies als die Tonmatrix. Die Hydrofrakturen deuten daraufhin, daß die Schlammablagerung sehr schnell erfolgte, so daß im Porenraum hohe Überdrucke entstanden, die das Material nach der Deposition teilweise zerrissen. Karbonatlagen unterschiedlicher Dicke und Zusammensetzung sowie kleine Karbonatchimneys, die in den sulfid- und gasreichen Kernen gefunden wurden, belegen die hohen, diagenetischen Umsatzraten in diesen Schlämmen. Die Sedimentbedeckung, die auf

dem Gipfelplateau mehr als 40 cm mächtig ist, läßt vermuten, daß der Schlammvulkan seit einigen Jahrtausenden nicht mehr aktiv gewesen ist und während dieser Zeit nur Wasser und möglicherweise Gase zur Oberfläche befördert hat.

Porenwasser-Untersuchungen zeigten, daß die Schlammablagerungen am Mound Culebra nicht mehr ihr ursprüngliches Formationswasser enthalten. An den meisten Lokationen auf dem Gipfelplateau und am Hang führten sie ein Fluid, das annähernd die gleiche Zusammensetzung wie Meerwasser hat. Wir vermuten daher, daß Meerwasser in die Schlammablagerungen eingedrungen ist. Nur an einer Lokation auf dem Gipfel konnten wir Schlämme mit extrem methan- und sulfidreichem Porenwasser bergen. Interessanterweise waren die Nährstoffgehalte auch in diesem Kern sehr gering. Wahrscheinlich wird hier nur gasförmiges Methan aus dem Untergrund zur Oberfläche befördert während das nährstoffreiche Tiefenfluid nicht ins Oberflächensediment aufsteigt. Am Fuß des Hügels konnten wir dagegen Fluide bergen, deren geringer Salzgehalt auf einen tiefen Ursprung schließen läßt. Die Tiefenfluide steigen also zur Zeit nicht am Gipfel sondern nur am Fuß der Struktur auf.

Die Wärmestrom-Messungen zeigten ein ähnliches Muster: An den meisten Positionen am Hang und am Gipfel lagen die Werte deutlich unter dem Hintergrundwert, der im Umgebungsgebiet gemessen wurde, und nur am unteren Hang und am Fuß des Mound Culebra wurde ein erhöhter Wärmestrom registriert. Die geringen Wärmeströme und Nährstoffgehalte am Top deuten daraufhin, daß der oberer Bereich des Hügels mit frischem und kaltem Meerwasser durchströmt wird. Am Fuß scheinen dagegen salzarme und warme Fluide aufzusteigen. An der Lokation, an der die Porenwasser-Chemie den Aufstieg von Methangas anzeigte, hatten die in-situ Temperaturprofile eine sehr ungewöhnliche Form. Sie zeigten ein deutliches Maximum an der Sedimentoberfläche und ein Minimum in ca. 1 m Sedimenttiefe. Diese Form wurde durch drei Wiederholungsmessungen bestätigt, so daß ein Meßfehler unwahrscheinlich ist. Es ist denkbar, daß das Maximum durch die Wärme verursacht wird, die bei der mikrobiellen Oxidation von Sulfid und Methan freigesetzt wird.

Die Methanmessungen in der Wassersäule bestätigten, daß am Mound Culebra große Methanmengen in das Bodenwasser freigesetzt werden. Im Gegensatz zu den Profilen, die während SO 163 gewonnen wurden, fanden wir hohe Methangehalte im Wasser, die auf kurzer vertikaler Distanz stark voneinander abwichen. Dieser Befund bestätigt die

Vermutung, daß hier nicht nur methanhaltige Fluide ausströmen sondern auch Methan-Gasblasen durch die Wassersäule aufsteigen. Weitere geochemische Untersuchungen an den geborgenen Wasserproben, Fluiden, authigenen Karbonaten und Sedimenten werden uns helfen, die Herkunft der Fluide und Schlämme, die Fluidbewegungen und den Stoffumsatz am Mound Culebra genauer einzugrenzen.

Im Anschluß an die sehr ergiebige Mound Culebra Beprobung, setzten wir unser Untersuchungsprogramm vor der Nicoya Halbinsel fort. Hier nahmen wir Sedimentkerne in einem Profil, das den Bereich von der Tiefsee-Rinne bis zum kontinentalen Schelf abdeckt.

Drei regionale Wärmestromprofile über den Kontinentalabhang wurden inzwischen abgearbeitet. Die Korridore liegen im Norden des Arbeitsgebiets vor Nicaragua, nördlich der Nicoya Halbinsel und vor der Nicoya Halbinsel auf dem ODP Korridor von Leg 170 und 205. Einfache Modelle für den konduktiven Wärmetransport über einer subduzierten Platte zeigen, daß die beiden nördlichen Profile gut mit dem Modell übereinstimmen, während in dem ODP Korridor extrem niedrige Wärmeströme beobachtet werden. Die Werte auf der ozeanischen Platte liegen dort bei ca. 10 mW/m^2 und über dem Kontinentalabhang bei ca. 20 mW/m^2 . Der benachbarte Korridor ergibt für die in die Subduktionszone einfahrende Platte Wert von $90\text{-}120 \text{ mW/m}^2$ und für den Kontinentalabhang liegt der Wärmestrom bei 40 mW/m^2 . Die geringen Unterschiede im Alter und in der Geometrie der abtauchenden Platte können die Unterschiede im Wärmestrom der nur 20 nm auseinander liegenden Profile nicht erklären. Es ist daher wahrscheinlich, daß lateraler Fluidfluß für das Wärmedefizit im ODP Korridor verantwortlich ist.

Die zweite Woche unserer Expedition, die ungewöhnlich erfolgreich war, aber die wissenschaftliche Crew teilweise bis an den Rand ihrer Belastbarkeit führte, schlossen wir mit einem sehr gelungenen Bergfest ab.

Klaus Wallmann

M54/2: 3. Wochenbericht, 27. 8. 2002 – 2. 9. 2002

Während der dritten Woche unserer Expedition untersuchten wir zum einen die Ventgebiete am Jaco Scarp und am Mound Quepos und komplettierten zum anderen die thermischen und sedimentären Profile vor Costa Rica.

Der Jaco Scarp liegt am mittleren Kontinentalhang von Costa Rica in einer Wassertiefe von ca. 2400 m bis 800 m. Durch die Subduktion eines Seamounts wird hier die Oberplatte angehoben und aufgewölbt, so daß eine Kuppe entsteht, die sich um ca. 1000 m über den umgebenden Meeresboden erhebt. Die Kuppe geht seewärts in eine steile Abrißkante über, an der Sedimente und Krustenblöcke abrutschen. Das Gipfelplateau wird durch ein dichtes Netz von Störungen segmentiert. Untersuchungen auf den FS Sonne Expeditionen SO144 und SO163 zeigten, daß sowohl am Gipfel als auch an der Abrißkante methanhaltige Fluide aufsteigen. Die Methankonzentrationen an der Abrißkante sind um zwei Größenordnungen höher als der Hintergrundwert und zeigen damit die stärkste Anreicherung im gesamten Untersuchungsgebiet vor Mittelamerika.

Unsere Methanmessungen am Jaco Scarp bestätigten die enorm hohen Werte an der Abrißkante und es gelang uns die Tiefenhorizonte, an denen das Methan austritt, genau zu lokalisieren. Wir versuchten an diesen Position Sedimente und Fluide zu bergen. Das Schwerelot brachte jedoch nur stark verfestigte Sedimentbrocken und Tonstein zur Oberfläche, so daß wir nach insgesamt 5 erfolglosen Versuchen aufgeben mußten. Auf dem Gipfelplateau waren die Loteinsätze dagegen erfolgreicher. An einer Position konnten wir extrem sulfid- und methanreiche Sedimente bergen, die durch aufsteigende Fluide oder Gase beeinflußt wurden. Die Methanfreisetzung konnten wir an dieser Position auch durch die Wassersäule verfolgen, die im bodennahen Bereich eine deutliche Methananreicherung zeigte. An anderer Stelle bargen wir dagegen Sedimente, deren Porenwasser stark an Nährstoffen verarmt war. Wir vermuten, daß hier, ähnlich wie am Mound Culebra, Meerwasser in die Struktur eindringt. Die Wärmestrom-Messungen ergaben laterale Änderungen im Bereich der Störungszonen auf dem Gipfelplateau des Jaco Scarp, die vermutlich durch Fluidbewegungen verursacht wurden.

Der Mound Quepos ist mit einem Durchmesser von ca. 200 m und einer Höhe von nur ca. 40 m eine deutlich kleinere Struktur, an der jedoch während der SO 163 Expedition ausgedehnte

Ventfelder entdeckt wurden. Es gelang uns nicht die authigenen Karbonatschichten zu durchteufen, die in den aktiven Ventgebieten dieser Erhebung den Meeresboden bedecken. In den Randbereichen konnten wir dagegen anoxische und stark nach Schwefelwasserstoff riechende Proben gewinnen. Im Bodenwasser fanden wir erhöhte Methankonzentrationen, die den Aufstieg von methanhaltigen Fluiden oder Gasen anzeigen. Zudem gelang es uns, in einem Schwerelotkern eine deutliche Chloridabreicherung im Porenwasser nachzuweisen, die sich im Sedimentkern über mehrere Meter erstreckte und an der Kernbasis besonders stark ausgeprägt war. Sie ist auf den Aufstieg von salzarmen Tiefenfluiden zurückzuführen. Durch die genaue Analyse der salzarmen Fluide, die wir hier in großer Reinheit bergen konnten, wird es uns vermutlich gelingen, die Frage zu klären, ob Wasser aus der subduzierten Platte an den Mounds und Schlammvulkanen der Oberplatte in den Ozean zurückgeführt wird. Wir fanden leider keine klaren Indikatoren für Schlammablagerung, so daß wir zur Zeit nicht wissen, ob der Mound Quepos ebenso wie der Mund Culebra ein Schlammvulkan ist oder durch andere Prozesse aufgebaut wurde.

Im Zuge der regionalen geothermischen Untersuchungen vor Costa Rica entdeckten wir bei ca. 84°50'W und 8°50'N eine großräumige Wärmestromanomalie auf der ozeanischen Platte. Mit bis zu über 400 mW/m² ist der Wärmestrom hier ca. 4 Mal größer als der erwartete Wert. Das Gebiet wurde durch weitere geothermische Stationen detailliert untersucht und die Anomalie konnte bis in den Tiefseegraben verfolgt werden. Der regionale Charakter der Anomalie deutet daraufhin, daß der erhöhte Wärmestrom durch Fluidrückfluß aus der Subduktionszone gesteuert wird. Die Analyse der Porenwasserproben, die hier gewonnen werden konnten, wird die Herkunft der aufsteigenden Fluide möglicherweise aufklären können. Weitere Wärmestromprofile untersuchten die Entwässerungsprozesse auf dem Kontinentalabhang.

Die Arbeit an Bord ist nach wie vor sehr ertragreich, was nicht zuletzt auf den großen Einsatz der gesamten Mannschaft und der wissenschaftlichen Crew zurückzuführen ist.

Klaus Wallmann

M54/2: 4. Wochenbericht, 3. 9. 2002 – 7. 9. 2002

Während der letzten Woche unserer Expedition untersuchten wir Mound 11 und 12 und setzten die Wärmestrom-Messungen vor Costa Rica fort. Die Mounds sind zwei benachbarte Erhebungen mit einem Durchmesser von jeweils ca. 100 m und einer Höhe von ca. 40 m, die am oberen Kontinentalhang von Costa Rica in einer Wassertiefe von ca. 1000 m liegen. Während der FS Sonne Expedition SO 163 wurden hier Ventfaunen und authigene Karbonate als Hinweis für den Austritt von methanreichen Fluiden gefunden.

Am Mound 12 kernten wir wieder chaotische Ablagerungen, die aufgrund sedimentologischer Merkmale (große Klaster aus stark verfestigtem Sediment, scaly clays) eindeutig als Produkte von Schlammvulkanismus anzusprechen sind. In einem Sedimentkern nahm der Salzgehalt mit der Tiefe rasch auf einen Wert von nur 360 mM Chlorid ab, der um ca. 40 % unter dem Wert des lokalen Bodenwassers (560 mM Cl) liegt. Der hohe Süßwasseranteil spricht für einen tiefen Entstehungsort der Fluide und läßt vermuten, daß hier Wasser aufsteigt, das durch diagenetische oder metamorphe Prozesse aus den Sedimenten und Gesteinen der subduzierten Platte freigesetzt wurde. Durch Isotopenuntersuchungen an den gewonnenen Wasserproben werden wir die Herkunft und den Bildungsort der Fluide näher eingrenzen können.

Um den Mound 11 legten wir ein engmaschiges Meßgitter an dessen Punkten die vertikalen Temperaturgradienten bestimmt wurden. Das so entstandene 3-dimensionale Bild der Temperaturverteilung zeigte, daß die Temperatur in einem länglichen Bereich, der quer über den Mound 11 verlief, am höchsten war. Wir legten die letzte Kernposition der Reise in diesen Bereich, in der Hoffnung hier aufsteigende Fluide anzutreffen. Zu unserer großen Freude und Überraschung enthielt der Kern ab ca. 2 m Tiefe Gashydrate, die hier in faustgroßen Blöcken bis vom Kernende den überwiegenden Teil der Sedimentmatrix bildeten. Das Oberflächensediment war dagegen aus den uns schon wohl vertrauten Schlammablagerungen aufgebaut, deren Porenraum überwiegend mit salzarmen Tiefenfluiden gefüllt war. Mound 11 ist also ein weiterer Schlammvulkan, der offenkundig methangesättigte Tiefenfluide zur Oberfläche befördert, so daß es zur Ausbildung von Gashydraten dicht an der Sediment/Wasser-Grenzschicht kommt. Es ist zwar bekannt, daß die Kontinentalhang-Sedimente vor Costa Rica und Nicaragua großflächig Gashydrate enthalten, sie können jedoch mit konventionellem Kerngerät nicht beprobt werden, da Methan in den oberflächennahen Sedimenthorizonten durch sulfatreduzierende Mikroorganismen oxidiert

wird und durch Diffusion ins Bodenwasser verloren geht. Nur an Positionen, an denen durch raschen Gas- oder Fluidaufstieg ein Methanüberschuß geschaffen wird, sind oberflächennahe Gashydrate anzutreffen. Das hier neu entdeckte und leicht zugängliche Hydratvorkommen wird sicherlich im nachfolgenden Leg 3 der M54-Expedition und in zukünftigen Expeditionen des neuen Kieler SFB 574 intensiv untersucht werden.

Die Wärmestrom-Messungen wurden im südlichen Bereich vor Costa Rica fortgesetzt.. Hier wurde, wiederum am letzten Meßpunkt, an der Flanke des Cocos-Rückens ein extrem hoher Temperaturgradient von ca. 1000 °C/km gemessen. Der entsprechende Wärmestrom übertrifft alle anderen im Fore-Arc von Mittelamerika gemessenen Werte bei weitem und kann nur durch hydrothermale Zirkulation und den Aufstieg von warmen Fluiden erklärt werden. Offenkundig gibt es an der untersuchten Flanke des Cocos-Rückens ein aktives und bisher unbekanntes Zirkulationssystem. Da die Meßposition nur ca. 3 nm seewärts der Deformationsfront liegt, kommt es hier möglicherweise zu einer Überlagerung von thermal getriebener Rückenflanken-Zirkulation und subduktionsinduzierter Fluidbewegung.

Am Morgen des 7. September legte FS Meteor schließlich, wie geplant, in Caldera an und der Großteil der wissenschaftlichen Crew verließ das Schiff, um den schon bereitstehenden Teilnehmern der am 10. September beginnenden M54/3-Expedition Platz zu machen. Unsere Expedition stand bis zum Ende unter einem glücklich Stern. Die Wetterbedingungen waren optimal, die Technik funktionierten einwandfrei, die Zusammenarbeit zwischen Mannschaft und Wissenschaft lief sehr gut und alle an Bord gaben ihr Bestes, um bis zum Schluß am Erfolg der Expedition zu arbeiten. Eine wesentliche Voraussetzung für das gute Gelingen der Expedition waren die exzellenten Kartierungen und Voruntersuchungen während der Expeditionen SO144, SO163 und M54/1. Außerdem hat sich die Kooperation zwischen der Kieler SFB-Gruppe und der Bremer Geothermik-Gruppe als ausgesprochen fruchtbar erwiesen. Wir wünschen unseren Kollegen, die den nächsten Fahrtabschnitt bestreiten viel Glück und Erfolg und gehen zufrieden mit einem großen und vielversprechenden Daten- und Probensatz von Bord.

Klaus Wallmann