

## Vom Penninikum und der (Para-)Tethys zu den großen Weltozeanen – das Institut erschließt den Zugang Österreichs zum Meer

Walter Kurz

Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz, Geozentrum, Heinrichstraße 26, 8010 Graz; e-mail: walter.kurz@uni-graz.at

Besonders hervorzuheben sind Werner Piller's Initiativen zum Wiedereinstieg Österreichs in das Integrated Ocean Drilling Program bzw. International Ocean Discovery Program (IODP). Allein aus unserem Institut erfolgten seit 2012 insgesamt fünf Teilnahmen von Grazer Erdwissenschaftlern aus unterschiedlichen geowissenschaftlichen Fachdisziplinen an IODP Expeditionen. Graz ist somit österreichweit in der wissenschaftlichen Erforschung der Geologie der Ozeane führend und international sichtbar. Das „International Ocean Discovery Program“ (IODP) ist ein internationales Forschungsprogramm zur Untersuchung des Ozeanbodens mittels Bohrungen, um die Entwicklung der Erde besser zu verstehen. Dazu werden Hochsee-Forschungsplattformen verwendet, um Daten in Meeressedimenten und Festgesteinen der Ozeanböden zu gewinnen, und über permanente Messsysteme am Ozeanboden Prozesse über lange Zeiträume zu dokumentieren und zu analysieren. An IODP sind 26 Nationen beteiligt. Kernbereiche der wissenschaftlichen Forschung sind Klimawandel, die tiefe Biosphäre, die Dynamik des Planeten Erde und Georisiken. Das Programm wird durch die U.S. National Science Foundation (NSF), Australia-New Zealand IODP Consortium (ANZIC), Brazilian Coordination for Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), European Consortium for Ocean Research Drilling (ECORD), Indian Ministry of Earth Sciences (MoES), Japan's Ministerium für Education, Culture Sports, Science and Technology (MEXT), Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), und das Ministry of Science and Technology (MOST) der VR China finanziert.

Die Teilnahme als Wissenschaftler an einer IODP Expedition entspricht einem Gegenwert von ca. 1 Mio US\$. Aus den Expeditionsteilnahmen Grazer Wissenschaftler entwickelten sich in Folge am Institut fünf vom Wissenschaftsfonds FWF geförderte Forschungsprojekte mit einer Gesamtfördersumme von etwa 1,2 Mio Euro; insgesamt waren bzw. sind vier DoktorantInnen und drei PostDocs im Rahmen dieser Projekte mit der Analyse von IODP Bohrkernen und weiteren Daten beschäftigt.

Die Expeditionen mit Grazer Beteiligung werden im Folgenden kurz beschrieben

### ***IODP Expedition 339 (Patrick Grunert)***

16. November 2011 bis 17. Jänner 2012

Die IODP -Expedition 339 konzentriert sich auf die breitere Bedeutung des mediterranen Abflusswassers (MOW) für die Zirkulation und das Klima im Nordatlantik. Die Expedition befasste sich mit wichtigen Fragen, die im IODP Initial Science Plan in Bezug auf die Paläozirkulation und das Klima, den Einfluss ozeanischer Gateways, sowie den Meeresspiegel und die neotektonische Kontrolle auf die Sedimentologie entlang der Kontinentalränder hervorgehoben wurden. Um diese Fragen zu beantworten, wurden gezielte Bohrungen in einer späten Neogenen Kontinentalrandsequenz im Golf von Cádiz und vor West-Iberien vorgenommen. Die hohen Akkumulationsraten, die mit Konturit-Ablagerungssystemen in dieser Region verbunden sind, bieten eine hochauflösende Sedimentstratigraphie, die eine detaillierte Untersuchung von Paläozirkulationsmustern ermöglicht, die mit früheren Umweltveränderungen zusammenhängen. Die Ergebnisse der Expedition 339 bieten eine einzigartige Gelegenheit, den globalen Zusammenhang zwischen paläozeanografischen-, klimatischen- und Meeresspiegeländerungen von Messina bis in die jüngste Zeit zu

verstehen. Der Golf von Cádiz und der Offshore-Bereich von Westiberien bilden einen ausgedehnten Sedimentkomplex, der sich in den letzten 5 Millionen Jahre entlang des MOW entwickelt hat. Dieser enthält daher ein unverkennbares Signal von MOW durch den Gibraltar Gateway, der sich nach tektonischen Ereignissen am Ende der messinischen Salinitätskrise wieder geöffnet hat und somit einen klaren Nachweis des Einflusses von Mittelmeer und MOW auf den Nordatlantik liefert.

Im Rahmen dieser Expedition wurden fünf umfassende wissenschaftliche Ziele definiert, die in sieben Bohrungen durch das Pliozäne und quartäre Sedimente analysiert wurden:

1. Verstehen Ursachen der Öffnung des Gibraltar Gateway und den Beginn von MOW.
2. Bestimmung der MOW-Paläozeanographie und der globalen Klimasignifikanz.
3. Einrichtung eines marinen Referenzabschnitts über den Klimawandel im Pleistozän.
4. Identifizierung der Meeresspiegelveränderungen und der Sedimentstratigraphie der Cádiz Konturite und des iberischen Kontinentalrandes
5. Analyse der synsedimentären neotektonischen Kontrolle zur Stratigraphie und Entwicklung der Konturite.

Damit soll auch die langfristige Variabilität des MOW inklusive seiner globalen klimatischen Bedeutung erfasst werden, sowie eine hochauflösende Analyse der schnellen Klimaänderungsereignisse im späten Pleistozän und Holozän.

### ***IODP Expedition 356 (Gerald Auer)***

31. Juli bis 30. September 2015

Diese Expedition untersuchte den Indonesischen Durchfluss am nördlichen und nordwestlichen Australischen Kontinentalrand. Der indonesische Durchfluss (Indonesian Through Flow; ITF) bildet einen kritischen Bestandteil des globalen thermohalinen Strömungssystems. Er spielt eine Schlüsselrolle beim Transport von Wärme vom äquatorialen Pazifik (dem Indopazifik-Warmwasserpool) zum Indischen Ozean und übt eine wichtige Kontrolle über das globale Klima aus. Die komplexe tektonische Entwicklung des indonesischen Inselbogens erschwert dabei die Rekonstruktion einer langfristigen (d.h. millionenjährigen) ITF-Geschichte. Obwohl in früheren Ozeanbohrprogrammen und Tiefsee-Bohrprojekten Tiefseekerne, die aus dem Indischen Ozean geborgen wurden, bereits analysiert wurden, um den Einfluss des Warmpools im Indopazifik und die ITF-Variabilität zu bestimmen, fehlen nach wie vor direkte biogeografische und sedimentologische Belege für die ITF. IODP Expedition 356 ermöglichte auch, die Geschichte des australischen Monsuns und seine Variabilität zu verstehen, ein System, dessen Entstehung vermutlich mit der Initiierung des ostasiatischen Monsuns zusammenhängt von dem vermutet wird, dass er seit dem Pliozän oder noch früher aktiv ist. Dies wird auch zu einem besseren Verständnis der Art und des Zeitpunkts der Entwicklung der Trockenheit auf dem australischen Kontinent führen.

Detaillierte paläobathymetrische und stratigraphische Daten ermöglichen auch die Rekonstruktion der Subsidenz des Australischen Kontinentalrandes, um die räumlichen und zeitlichen Muster vertikaler Bewegungen zu erfassen, die durch die Wechselwirkung zwischen Plattenbewegung und Konvektion innerhalb des Erdmantels, der sogenannten dynamischen Topographie, verursacht werden.

### ***IODP Expedition 344 (Walter Kurz)***

23. Oktober bis 11. Dezember 2012

Das Costa Rica Seismogenesis Project (CRISP) soll die Prozesse aufklären, die die Auslösung seismische Entwicklung großer Erdbeben an erosiven Plattengrenzen steuern. CRISP befindet sich in der einzigen bekannten seismogenen Zone an einer erosiven Plattengrenze, die mittels wissenschaftlicher Bohrungen erreicht werden kann. Mit einer geringen Sedimentation, einer schnellen Konvergenzrate, hoher Seismizität, Subduktionserosion und einer Änderung des Plattenreliefs der subduzierten Cocosplatte

entlang des Streichens des aktiven Kontinentalrandes bietet CRISP hervorragende Möglichkeiten, die Auslösung und Ausbreitung von Erdbeben besser zu verstehen. Dieses Projekt ergänzt andere Bohrprogramme (z.B. das San-Andreas-Observatorium, Nankai-Trog) und untersucht seismogene Prozesse erster Ordnung, die für die meisten Plattenränder und diejenigen, die nur für Erosionsränder gelten, typisch sind. Expedition 344 konzentrierte sich auf die Randbedingungen wie lithologische Zusammensetzung der subduzierten Platte, Hydrologie und thermische Struktur im Bereich der Mittelamerikanischen Tiefseerinne. Die wesentlichen Ergebnisse des aus der Expeditionsteilnahme entstandenen FWF-Projektes sind in der Zeitschrift UNIZeit (Ausgabe 04/2017) zusammengefasst:

#### *Wenn die Erde bebt*

Vor wenigen Wochen, am 12. November 2017, erschütterte ein Erdbeben der Stärke 6,5 Costa Rica. Glücklicherweise gab es keine Verletzten. Für das mittelamerikanische Land war dies kein außergewöhnliches Ereignis, denn vor seiner Küste treffen zwei tektonische Platten aufeinander. GeologInnen der Uni Graz haben die Mechanismen rund um die Entstehung von Erdbeben in dieser Region erforscht.

Zehn Zentimeter im Jahr schiebt sich vor Costa Rica die Cocosplatte in einem flachen Winkel von Süden her unter die Karibische Platte. Durch die Subduktion, wie die Wissenschaft diesen Prozess bezeichnet, entstehen enorme Reibungskräfte zwischen Oberplatte und Unterplatte. Die untere Platte mit der höheren Dichte schleift die obere ab – je flacher der Eintauchwinkel, umso stärker die tektonische Erosion. Das mechanisch abgeschliffene Gesteinsmaterial wird dabei weiter in die Tiefe transportiert. Abhängig von der Beschaffenheit der Platten entstehen Spannungen, die früher oder später dazu führen, dass die obere Platte einbricht, was sich in Erdstößen bemerkbar macht. Besonders intensiv sind diese Beben dort, wo Erhebungen am Ozeanboden, sogenannte „seamounts“, subduziert werden.

#### *Tiefe Einsichten*

Die Prozesse, die für die Entstehung schwerer Erdbeben im Bereich von erosiven Plattengrenzen verantwortlich sind, besser zu verstehen, war Ziel des „Costa Rica Seismogenese Project (CRISP)“. ForscherInnen aus 15 Ländern beteiligten sich an der Expedition im Rahmen des Integrated Ocean Drilling Projects (IODP), die sich mittels Tiefseebohrungen Einblicke in die Vorgänge unter dem Meeresboden verschaffte. Auch Univ.-Prof. Dr. Walter Kurz, Leiter des Instituts für Erdwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz, war von Oktober bis Dezember 2012 mit an Bord. Dabei gewonnene Proben werden im Rahmen eines vom Österreichischen Wissenschaftsfonds FWF geförderten Projektes weiter analysiert.

„Die Subduktionszone vor Costa Rica ist die weltweit einzige bekannte Region an einer erosiven Plattengrenze, die für wissenschaftliche Bohrungen erreichbar ist“, erklärt Walter Kurz. „Der Meeresboden liegt hier in nur 2000 Metern Tiefe. Hinzu kommt, dass die ozeanische Kruste, die unter die Karibische Platte geschoben wird, außergewöhnlich dick und folglich der Eintauchwinkel sehr flach ist. Das ermöglicht, in der Subduktionszone durch die Plattengrenze zwischen Cocosplatte und Karibischer Platte zu bohren.“

#### *Spuren-Suche*

Das Team um Kurz konzentrierte sich auf die Untersuchung von Bohrkernen aus der Cocosplatte, um Aufschluss über die Entwicklung von Bruchzonen und die Mechanismen der Deformation in den oberen Bereichen der Plattengrenzen zu erhalten. Durch den flachen Subduktionswinkel sind die Reibungskräfte und die Erosion besonders stark. Jennifer Brandstätter, MSc, analysierte die Zusammensetzung des Materials, das die Cocosplatte mit in die Tiefe transportiert. „Die obere Schicht der Platte besteht aus Basalten, also Gestein vulkanischen Ursprungs aus dem Erdinneren. Darüber liegt eine für geologische Verhältnisse recht dünne Schicht von Tiefsee-Sedimenten, in einer Mächtigkeit von 300 bis 400 Metern“, berichtet die Geologin.

In den Basalten und verfestigten Sedimenten stellten die Grazer ForscherInnen hydrothermale Mineralisationen fest. „Das bedeutet: Heißes Wasser zirkuliert im Gestein“, so Brandstätter.

Die chemische Analyse von Flüssigkeitseinschlüssen in den Mineralisationen ergab, dass es sich hauptsächlich um aufgeheiztes Meerwasser handelte; zusätzlich war auch Kohlendioxid aus tieferen Bereichen der Erdkruste vorhanden. Weitere Untersuchungen brachten neue, interessante Erkenntnisse über den Ursprung dieser Einschlüsse: „Die Wärmequelle für die Aufheizung des Meerwassers liegt im Bereich der Galapagos-Inseln südwestlich von Costa Rica, einem vulkanischen Hotspot. Das zusätzliche CO<sub>2</sub> dürfte somit vulkanischen Ursprungs sein.“, weiß die Geologin. Die untersuchten Gesteine der Cocosplatte, wurden vor ca. 20- 12 Millionen Jahren im Bereich der Galapagos-Inseln gebildet, in deren Nähe sich auch ein Spreizungszentrum befindet, wo neue ozeanische Kruste entsteht.

#### *Wasser-Kraft*

Auch das eingeschlossene Wasser im Gestein, das mit der Cocosplatte in die Tiefe mitgenommen wird, spielt eine Rolle bei der Erdbebenentstehung. „Denn ab einem gewissen Druck entweicht es aus den Poren und Hohlräumen, steigt in die darüber liegende Karibische Platte auf und setzt dadurch die Festigkeit des umgebenden Materials herab, bis dieses irgendwann bricht“, erklärt Brandstätter.

Welchen Spannungen die Gesteine standhalten, ist von ihrer Beschaffenheit abhängig. Um herauszufinden, welche Spannungen in der Nähe der Subduktionszone auftreten, untersuchte das Grazer Team das Material des Ozeanbodens auf der Cocosplatte, einen Kilometer von der Plattengrenze entfernt. Mikroskopische Analysen ergaben eine Spannung in der Größenordnung von 50 Mega-Pascal. Dies entspricht dem Druck, der in ca. zwei Kilometern Tiefe in der Erdkruste vorherrscht. Basalte haben weitaus höhere Festigkeiten (das 4- bis 10-fache), aber Carbonat reichere Lagen, wie etwa Schichten mit schwach verfestigten Tiefseesedimenten, wie sie die ForscherInnen ebenfalls identifiziert haben, würden bei diesen Spannungen brechen.

#### ***IODP Expedition 352 (Walter Kurz)***

30. Juli bis 29. September 2014

Während IODP Expedition 352 wurde ein Abschnitt der vulkanischen Stratigraphie des äußeren Forearcs des Izu-Bonin-Mariana-Systems erbohrt, mit dem Ziel, die mit dem Beginn eines Subduktionsprozesses verbundenen Prozesse von Magmatismus, Tektonik und Krustenakkretion zu verfolgen. Die Ergebnisse dieser Expedition haben wiederum Auswirkungen auf das Verständnis des Ursprungs von vielen Ophioliten, von denen angenommen wird, dass sie sich in einem ähnlichen tektonischen Setting bilden. Die Expedition bot eine gute Gelegenheit, dieses Modell für die Bildung von Ophiolithen im Bereich von Supra-Subduktionszonen zu testen. Die Bohrungen lieferten eine detailgetreue Analyse der magmatischen Entwicklung während des Beginns eines Subduktionereignisses, eine petrologische und geochemische Stratigraphie des äußeren Izu-Bonn-Maiana Forearcs, und Informationen darüber, wie sich Mantelschmelzprozesse während der des Beginns einer Subduktion entwickeln, von früher Dekompressionsschmelze der Asthenosphäre bis zur späten Flusschmelze des abgereicherten Mantels. Dies liefert wiederum was wichtige empirische Einschränkungen für geodynamische Subduktionsinitiationsmodelle.

#### ***IODP Expedition 366 (Walter Kurz)***

8. Dezember 2016 bis 7. Februar 2017

Ziel dieser Expedition mit hohem interdisziplinärem Charakter war die Erforschung von Prozessen innerhalb der Oberplatte an einer aktiven Subduktionszone und die damit verbundene Umwandlung des Erdmantels der Philippinischen Platte. Die Umwandlung des Erdmantels erfolgt unter Beteiligung von tief liegenden wässrigen Lösungen, die zur Serpentinisierung des Erdmantels führen. Diese Umwandlungsprodukte treten in Form von Serpentinischlammvulkanen am Ozeanboden aus und bringen zusätzlich eine Reihe von Gesteinsfragmenten aus mehreren Kilometern Tiefe mit. An diese Schlammvulkane sind auch eine Reihe

von hydrothermalen Quellaustritten gebunden. Damit ist es möglich, tiefliegende Prozesse innerhalb der Erdkruste und des Erdmantels, aber auch die lokalen, an die hydrothermalen Austritte gebundenen Lebensformen zu untersuchen.

Ziel der IODP Expedition 366 waren detaillierte Analysen des Chemismus, der Mikrobiologie und der physikalischen Eigenschaften von spezifischen Sedimenten, welche die Serpentinitschlammvulkane aufbauen, und von fluiden Phasen aus der Erdkruste und dem Erdmantel. Die Serpentinitschlämme werden westlich oberhalb des Marianengraben durch Serpentinitschlammvulkane am Ozeanboden, in einer Tiefe von etwa 4000 bis 2000 m unter dem Meeresspiegel, gefördert, und im Zuge dieser Expedition durch Kernbohrungen beprobt. Im Rahmen der IODP Expedition 366 wurden vier dieser Schlammvulkane untersucht:

South Chamorro Sea Mount, Blue Moon-, Big Blue- und Celestial Seamount (Abb. 1).

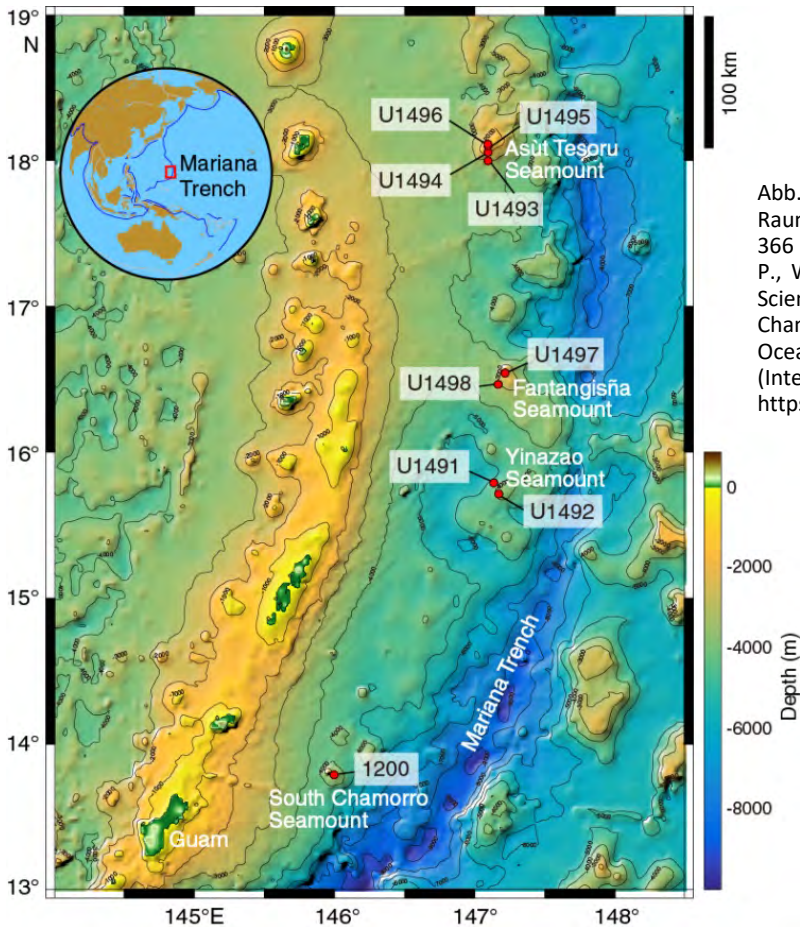


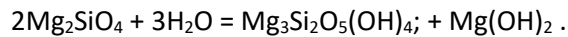
Abb. 1: Bathymetrische Karte des westpazifischen Raumes; markiert sind die während IODP Expedition 366 untersuchten Serpentinitschlammvulkane (Fryer, P., Wheat, C.G., Williams, T., and the Expedition 366 Scientists, 2018. Mariana Convergent Margin and South Chamorro Seamount. Proceedings of the International Ocean Discovery Program, 366: College Station, TX (International Ocean Discovery Program). <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.366.2018>).

Am South Chamorro Sea Mount wurde bereits 2005 im Rahmen der Ocean Drilling Program (ODP) Expedition 195 ein permanentes Messsystem (CORK) zur Analyse von Porenfluiden installiert, das während Expedition 366 entnommen und ausgewertet wurden.

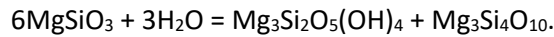
Die Schlammvulkane im Bereich des Mariana Forearc (jener Teil einer Oberplatte, der zwischen einer Tiefseerinne und einem magmatisch-vulkanischen Inselbogen liegt) sind die einzigen, die momentan weltweit bekannt und aktiv sind. Andere Serpentinitschlammvulkane sind im Laufe der Erdentwicklung aber immer wieder, an bestimmte plattentektonische Settings gebunden, aufgetreten. Die Serpentinitschlammströme, die den Großteil der Schlammvulkane aufbauen, enthalten sowohl feinkörnige Matrix als auch Klaster (Bruchstücke) von serpentinisiertem Mantelperidotit. Die Serpentinisierung erfolgt bei Temperaturen von weniger als  $\sim 500^\circ\text{C}$  durch die Hydratation von mafischen Mineralien. Die drei Serpentin-

Mineralphasen, die bei der Serpentinisierung gebildet werden, sind Antigorit (400°C-600°C), Lizardit (0°C-300°C) und Chrysotil (hauptsächlich bei niedrigen Temperaturen, hohem Fluiddurchsatz, ansonsten instabil).

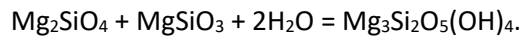
Der Magnesiumolivin Forsterit reagiert mit Wasser zu Magnesium-Serpentin und Brucit:



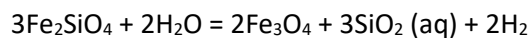
Der Magnesium-Orthopyroxen Enstatit reagiert mit Wasser unter Bildung von Magnesium-Serpentin und Talk:



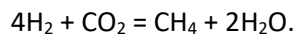
Peridotit, ein Erdmantelgestein, besteht sowohl aus Forsterit als auch aus Enstatit, und kann mit Wasser zu Serpentin reagen:



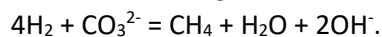
Die meisten Olivine aus den Mariana Forearc Peridotiten enthalten ~ 10 Mol-% Eisen. Das Eisenendglied der Olivinreihe (Fayalit) bildet bei der Reaktion mit Wasser Magnetit (Eisenoxid). Dabei wird die SiO<sub>2</sub>-Aktivität in den wässrigen Lösungen erhöht und Wasserstoff freigesetzt:



Wasserstoff, der mit Kohlendioxid, das (z.B. aus Sedimenten) von der subduzierenden Platte freigesetzt wird, wechselwirkt, kann somit abiotisch Methan erzeugen:



Bei hohem pH-Wert findet folgende Reaktion statt:



Die Serpentinitschlammvulkane der konvergierenden Mariana Plattengrenze liegen im äußeren Bereich des 200 km breiten Streifens zwischen dem Marianengraben und den vulkanischen Inseln des aktiven, magmatischen Vulkanbogens. Die am besten untersuchten Schlammvulkane liegen südlich von ~ 20° N. Sedimentäre Schlammvulkane, die an vielen konvergenten Plattenrändern auf der ganzen Welt beobachtet werden, erreichen normalerweise eine maximale Größe von einigen hundert Metern Höhe und bis zu 10 km im Durchmesser. Die Serpentinitschlammvulkane des Mariana Forearc bilden Seamounts mit Höhen von bis zu 2,5 km und Durchmessern von 50 km. Daneben bilden sich auf den Seamounts Karbonatschornsteinstrukturen und kleinere Schornsteine aus Brucit (Magnesiumhydroxit). Die Brucitschornsteine liegen generell näher an der Tiefseerinne (Marianengraben) als die Karbonatschornsteine.

Die Fluide, die mit den Serpentinitschlämmen aufsteigen, stammen von der subduzierten Unterplatte (Pazifische Platte). Porenfluidzusammensetzungen aus allen Seamounts zeigten eine systematische Variation mit dem Abstand vom Marianengraben, und somit der Tiefe des subduzierten Unterplattenteiles. Auch Analysen von metasedimentären Gesteinen aus dem Franziscan Komplex in Kalifornien zeigten Ergebnisse, die mit den in den Marianen-Porenfluiden, mit dem Abstand von der Tiefseerinne beobachteten Variationen, übereinstimmen.

Daten aus den Spurenelementanalysen, einschließlich Seltener Erdelemente, liefern mehr Details über chemische Reaktionen und Temperaturen an der Fluidquelle. In der Nähe der Tiefseerinne (z. B. Blue Moon Seamount) sind nur die Calcium- und Strontium-Konzentrationen größer als jene im Meerwasser, was auf einen Zusammenbruch von Smectit, ein Tonmineral, bevorzugt in subduzierten pelagischen Tiefseesedimenten, schließen lässt. Im Bereich des Blue Moon Seamount ist Cäsium nicht mobil. Daraus lässt sich eine Temperatur von weniger als 80° C an der Fluidquelle abschätzen. Mit größerer Distanz zum Marianengraben wird Cäsium mobilisiert (z. B. Cerulean Springs, Pacman Seamount). Damit sind Temperaturen von mehr als 80° C, in einer Tiefe von 13-16 km wahrscheinlich. Mit zunehmendem Abstand

vom Graben, bzw. einer Tiefe der Plattengrenze von ca. 17-24 km (z. B. Celestial Seamount) legen niedriges Rubidium / Kalium und Rubidium / Cäsium nahe, dass die Porenfluide durch die Dehydratation von umgewandelten Tonen aus den Tiefseesedimenten bei Temperaturen um 150° C freigesetzt werden.

Bei einer Tiefe von etwa 25 Kilometern (z.B. im Bereich Big Blue Seamount und Quaker Seamount) zeigen Porenfluide höhere Gehalte an leichten Seltenen Erdelementen gegenüber schweren, was auf Temperaturen (200° C) und höhere Verhältnisse von Rubidium / Kalium hindeutet, und somit auf eine basaltische Quelle (Ozeanbodenbasalte der subduzierten Pazifischen Platte). Variationen in Rubidium / Cäsium mit zunehmender Distanz vom Marianengraben weisen auf Temperaturen bis ca. 350° C an der Plattengrenze unterhalb der von der Tiefseerinne am weitesten entfernten Seamounts hin (South Chamorro und Conical Seamounts). Diese Ergebnisse wurden durch Mineralparagenesen (im chemischen Gleichgewicht stehende Mineralzusammensetzung des Gesteines) in metamorphen Gesteinen, welche mit den Serpentinitschlammern des South Chamorro Seamount auf den Ozeanboden gefördert wurden, untermauert.

Die Serpentin-Schlamm-Eruptionen im Mariana Forearc sind episodisch und müssen direkt mit der episodischen Freisetzung von Fluiden aus der subduzierenden Platte verbunden sein. Über die Rate der Eruption oder deren Frequenz ist wenig bekannt, ebenso über das Alter der Serpentin Schlammvulkaned. Einzelne Ergebnisse aus Tiefseebohrungen weisen zumindest für Big Blue Seamount auf eine Aktivität seit dem Mittleren Eozän (45 Millionen Jahre) hin.

#### *Blauer Schlamm und die Entstehung des Lebens auf dem Planeten Erde?*

Ein wesentlicher Aspekt dieser Expedition ist es, mehr über die Prozesse zur Entstehung des Lebens und dessen Zusammenhang mit Plattentektonischen Prozessen zu erfahren. Eine Hypothese, die während dieser Expedition getestet wird, ist, ob das Leben auf der Erde in Serpentinitschlamm entstanden sein könnte. Dabei wird postuliert, dass die ersten lebenden Organismen während einer Zeit entstanden sein könnten, als der Planet Erde eine kühle Phase durchlaufen hat, während die Ozeane ungefähr 100mal saurer waren als gegenwärtig. Serpentinitschlamm hat dem gegenüber, einen sehr hohen pH-Wert (ca. 12; d.h. er ist sehr basisch). Erste Organismen haben möglicherweise den pH-Gradienten zwischen diesem Schlamm und dem Meerwasser als Energiequelle verwendet.

Bisher gibt es nur sehr wenig Belege, welche diese Hypothese bestätigen, wodurch diese Expedition 366 umso mehr an Bedeutung gewinnt. Ein internationales wissenschaftliches Team aus Geologen, Petrologen, Geophysikern, Geochemikern und Mikrobiologen untersucht die serpentinierten Schlammproben auf einzigartige, interdisziplinäre Weise. Die Kombination diverser Untersuchungsmethoden und Ergebnisse soll somit die Bedeutung von Prozessen innerhalb der Lithosphäre und in den tiefen Ozeanen für die Evolution des Lebens klären. Erste Zusammenhänge zwischen Mikroben, chemischen Signaturen von Porenwässern und Mineralen wurden anhand der ersten Kernproben bereits getestet.

In den letzten Jahren wurde der Serpentinisierung vermehrt Aufmerksamkeit zuteil, da sie als ein essentieller Prozess für die Entstehung und Entwicklung des Lebens erkannt wurde. Serpentinisierungsreaktionen, vor allem in kalten alkalischen Umgebungen, können dazu führen, dass ein geochemisches Milieu, einschließlich Wasserstoff und niedrigmolekulare Kohlenstoff-Verbindungen, geschaffen wird, das ideale Bedingungen für die frühesten Lebensformen darstellt.

In Bohrkernproben vom Mariana Forearc (South Chamorro-Seamount) wurden in Tiefen von etwa 3 m unter dem Ozeanboden mikrobielle Populationen gefunden, die von Archäa dominiert werden. Die archäale Biomasse in diesen Bohrkernen ist 571 bis 932 mal höher als die bakterielle Biomasse in diesen Schlammern. Porendfluidanalysen zeigen, dass Archaea Methan in den Fluiden zu Carbonationen und organischem Kohlenstoff oxidieren, und Sulfat zu Bisulfid reduzieren und evtl. auch gelösten Stickstoff zu Ammoniak. Die

ungewöhnlichen Bedingungen im Environment, in dem die mikrobiellen Populationen tätig sind, sind durch abnorm hohe pH-Werte (12,5) charakterisiert.

Man nimmt daher an, dass die Archaea-Populationen und alkaliphile Bakterien von Nährstoffen unterstützt werden, die durch Fluide, die aus der subduzierten Unterplatte freigesetzt werden, und durch die damit im Zusammenhang stehenden Serpentinisierungsprozesse, entstehen. Diese extremophilen mikrobiellen Gemeinschaften sind somit von chemischer Energie aus einer Quelle, die bis zu 20 km unter dem Meeresboden liegt, abhängig. Je höher die Raten des Fluidzustromes sind, umso komplexer sind die Gemeinschaften. Die wesentliche Nährstoffquelle ist dabei das abiotisch erzeugte Methan, das durch Serpentinisierungsreaktionen freigesetzt wird.

Ein weiteres Forschungsziel ist das bessere Verständnis von seismischer Aktivität im Bereich von Subduktionszonen. Entlang des Marianengrabens wird die pazifische Platte unter die philippinische Platte subduziert. Diese konvergierende Plattengrenze ist seismisch hoch aktiv und die damit auftretenden Erdbeben führen manchmal zu verheerenden Tsunamis. Somit besteht auch ein unmittelbarer Zusammenhang zu den Expeditionen 344 und 352. Durch das Studium von Sedimentkernen aus mehreren Schlammvulkanen, die mit zunehmender Entfernungen zur Subduktionszone beprobt wurden, kann eine chronologische Entwicklung seismischer Ereignisse rekonstruiert werden, und wie diese Ereignisse die geochemischen Zyklen und mikrobiellen Gemeinschaften über die Zeit und mit zunehmender Tiefe unter dem Meeresboden, und somit bei steigenden Temperaturen und Drucken, beeinflussen können. Die Proben aus diesen Bohrkernen bieten somit ein Fenster in die geologische Vergangenheit, die sowohl kurzfristige Ereignisse wie große Erdbeben, als auch längere Zeiträume der relativen Stabilität oder langsamen Veränderung der Litho- und Biosphäre aufzeichnen. Mit diesem grundlegenden Wissen sollen Erdbeben- und Tsunami-Modellierungen sowie Vorhersagemöglichkeiten verbessert werden, was letztlich zu effektiveren Warnsystemen für gefährdete Regionen führt.