

**Meteor Reise M137, Callao – Callao, 06. – 29. Mai,
1. Wochenbericht, 07. Mai 2017**

Stefan Sommer und das M137 Team



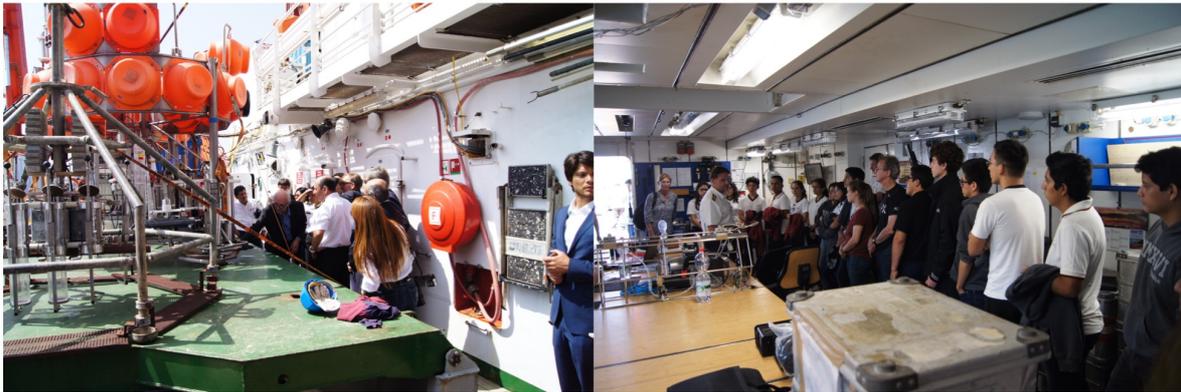
Die METEOR Expedition M137 zur Sauerstoffminimumzone vor Peru findet im Rahmen des Kieler Sonderforschungsbereichs SFB 754 (Climate – Biogeochemistry Interactions in the Tropical Oceans) statt. Sauerstoffminimumzonen (SMZ) stellen Schlüsselregionen für den marinen biogeochemischen Stoffhaushalt dar. Bislang ist jedoch wenig verstanden, welche Prozesse SMZ aufrechterhalten und wie sich mögliche Rückkoppelungen der Nährstoff-Freisetzung vom Meeresboden auf die gegenwärtig beobachtete Ausdehnung von SMZ's auswirken.

Zielsetzung der Forschungsreise ist es den Stoffaustausch zwischen dem Meeresboden und der darüber liegenden Wassersäule quantitativ zu erfassen. Die Verfügbarkeit von Sauerstoff (O_2), Nitrat (NO_3^-) und Nitrit (NO_2^-) im Bodenwasser ist vor allem am oberen und unteren Rand der peruanischen SMZ auf verschiedenen Zeitskalen sehr variabel. Die Auswirkungen solch variabler Umweltbedingungen auf den Stoffumsatz und -austausch der Sedimente mit dem bodennahen Wasserkörper sollen experimentell erfasst werden um das Nährstoff- und Spurenmetallbudget auch über längere Zeiträume modellhaft quantifizieren zu können. Dies soll Vorhersagen über die zukünftige Entwicklung der SMZ ermöglichen.

Im Vordergrund der Experimente stehen zwei Organismengruppen, schwefeloxidierende Bakterien der Gattung *Thioploca* und *Beggiatoa* sowie einzellige Foraminiferen. Beide Gruppen können in hohem Maße NO_3^- und NO_2^- intern speichern und für die Energiegewinnung einsetzen, wobei sie entscheidend auf den Stickstoffkreislauf in den Sedimenten und der Wassersäule einwirken. In Abhängigkeit vom Porenwassergehalt von Schwefelwasserstoff und dem Bodenwassergehalt von O_2 können diese Schwefelbakterien zusätzlich den Phosphor Kreislauf im Sediment beeinflussen. Ein weiteres Experiment widmet sich der Untersuchung von Ereignissen bei denen Sedimente hohe Mengen des toxischen Schwefelwasserstoffs in die Wassersäule abgeben. Dies führt zu einer massiven Störung des Ökosystems und hat starke Auswirkungen auf Aquakulturen. Weiterhin ist, wie auf der vorigen METEOR Reise M136, die Erfassung von natürlichen Stoffflüssen und deren Koppelung mit physikalischen Prozessen in der Bodengrenzschicht sowie in der Wassersäule Kern der Stationsarbeiten.

Um der Aufgabenstellung gerecht zu werden sind Wissenschaftler verschiedener Disziplinen aus 6 verschiedenen Instituten an Bord. Dies umfasst die physikalische, chemische, biogeochemische Ozeanographie sowie die Mikrobiologie und Ökologie und spiegelt die Interdisziplinarität des Kieler Sonderforschungsbereich wieder. Elf Fahrtteilnehmer sind bereits seit der vorigen METEOR Reise M136 an Bord, die verbleibenden Fahrtteilnehmer u.a. zwei peruanische Wissenschaftler vom IMARPE (Instituto del Mar del Perú) sind am 4. und 5.

Mai an Bord gekommen. Der Hafenaufenthalt in Callao wurde dazu genutzt die Labore einzurichten. Am 4. Mai fand ein Besuch des deutschen Botschafters J. Ranau, weiterer Botschaftsangehöriger sowie peruanischen Militärvertreter an Bord des FS METEOR statt. Im Vordergrund des Besuchs standen Gespräche und ein Vortrag zur Meeresforschung im tropischen Pazifik als auch eine Schiffsführung. Der Besuch war sehr gut gelungen wobei unsere Forschungsarbeit auf großes Interesse stieß. Am darauffolgenden Tag wurde das FS METEOR von Schülern der Deutsch-Peruanischen Schule Beata Imelda in Chosica besucht. Am späten Nachmittag wurde mit 11 Wissenschaftlern des IMARPE ein Workshop zur peruanischen SMZ ausgerichtet. Während des Symposium hatten wir Gelegenheit erste Ergebnisse der METEOR Reise M136 zu diskutieren.



Bilder vom Besuch des deutschen Botschafters und peruanischen Militärvertretern als auch dem Besuch einer Schülergruppe im Hafen von Callao (Foto: M. Dengler)

Am Samstag den 6. Mai um 09:00 verließ das FS METEOR bei gutem Wetter den Hafen von Callao. Nach einem kurzen Transit wurden die Stationsarbeiten entlang des Tiefenschnitts bei 12°S aufgenommen.

Wir freuen uns auf eine erfolgreiche Reise bei bereits vorhergesagten guten Wetterbedingungen.

Alle an Bord sind wohlauf, es grüßt herzlichst,
Stefan Sommer und das M137-Team

**Meteor Reise M137, Callao – Callao, 06. – 29. Mai,
2. Wochenbericht, 14. Mai 2017**

Stefan Sommer und das M137 Team



Trotz des kurzen Transits zur ersten Station von nur wenigen Stunden waren die Labore und Geräte schnell einsatzfähig und die Stationsarbeiten konnten in vollem Umfang beginnen. Die Arbeiten am Meeresboden konzentrieren sich vor allem auf das Schelfgebiet vor Callao, wo wir in Wassertiefen bis zu 350 m Sedimente beprobten und in situ Stoffflussmessungen als auch Experimente vornahmen. Mit den Stoffflussmessungen mittels der Lander (Abb. 1) kommen wir gut voran. Hin und wieder jedoch macht einem die Natur einen Strich durch die Rechnung, wenn Krebse (*Pleuroncodes monodon*) auf der Suche nach Sauerstoff Zuflucht in einem Ventil der benthischen Kammer suchen und so unsere Fluss-Messungen beeinträchtigen (Abb. 1).

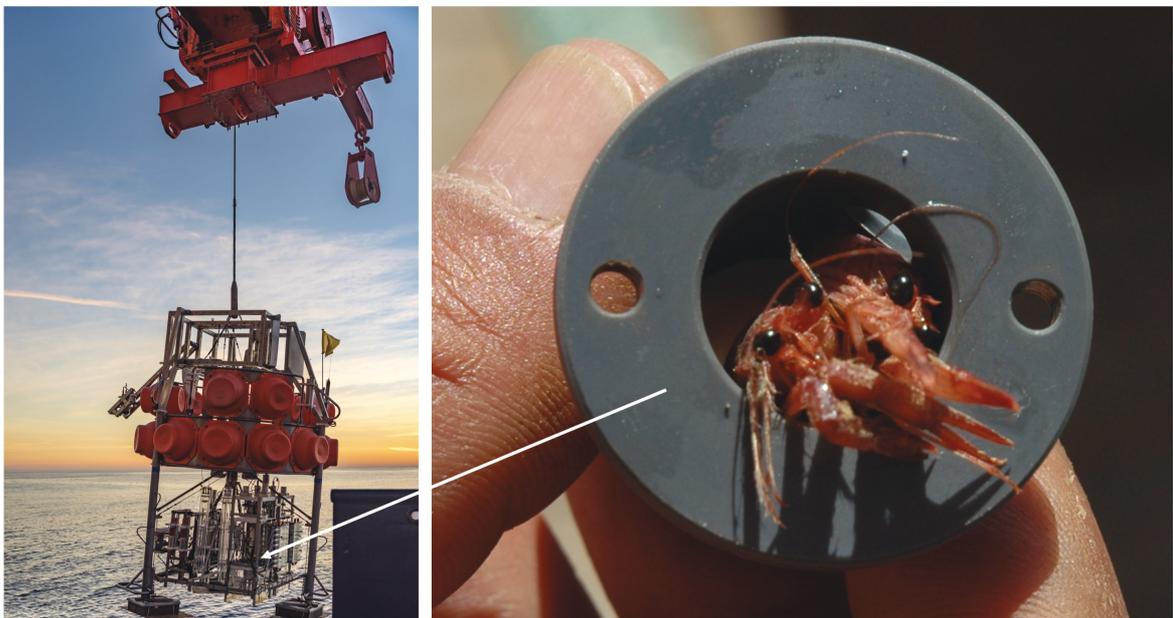


Abb. 1: Krebse (*Pleuroncodes monodon*) im Ventildeckel der benthischen Kammer im Lander (Photos: C. Rohleder, S. Sommer)

Experimente an Bord des FS METEOR zum Stoffumsatz von Foraminiferen und Schwefelbakterien bilden einen Schwerpunkt dieser Forschungsreise. Die einzelligen, eukaryotischen Foraminiferen (Abb. 2A) und filamentöse, prokaryotische Schwefelbakterien (Abb. 2B) greifen entscheidend in den Umsatz von Stickstoffverbindungen und im Falle der

Schwefelbakterien auch in den Phosphorkreislauf ein und tragen somit zum gesamten Stoffhaushalt der peruanischen Sauerstoffminimumzone (SMZ) bei.

Beide Organismengruppen besiedeln in hohen Dichten die Sedimente innerhalb der Peruanischen (SMZ). Die Schwefelbakterien der Gattung *Marithioploca* und *Beggiatoa* bilden an der Sedimentoberfläche oft dichte, weißliche Matten aus, die mittels eines geschleppten Kamerasystems leicht auszumachen sind und bis zu Wassertiefen von 350 m das Bild der Sedimentoberfläche dominieren. In Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Sauerstoff, Nitrat und Nitrit im Bodenwasser sind *Beggiatoa* Arten in der Lage Phosphor in Form von Polyphosphaten zu speichern und diese bei anoxischen Bedingungen wieder für die Energiegewinnung zu benutzen, wobei Phosphat in das Bodenwasser abgegeben wird. Dieser Prozess kann vorübergehend zu einer hohen Phosphatfreisetzung aus dem Meeresboden führen. Erste Untersuchungen an Bord der METEOR haben gezeigt das *Beggiatoa* Filamente an der anoxischen Station bei 244 m Wassertiefe große Polyphosphateinschlüsse besitzen, die in Abb. 2C als weiße Flecken in den Vakuolen der Bakterien sichtbar sind. Das eigentliche *Beggiatoa* Filament ist kaum zu sehen.

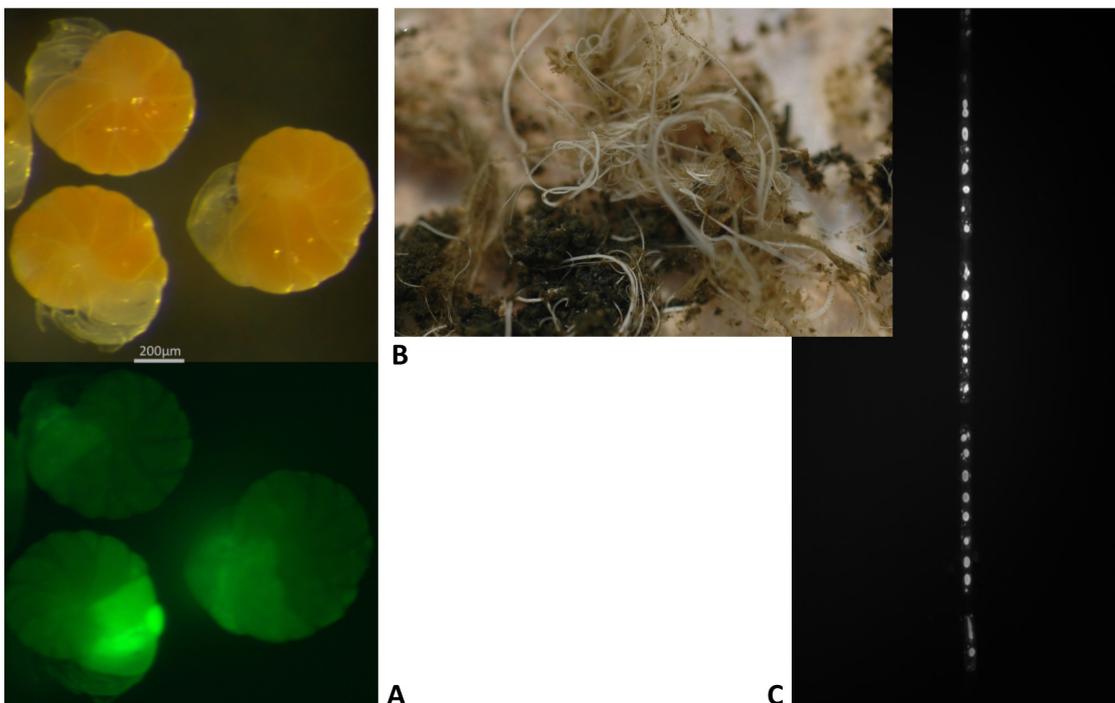


Abb. 2: A Foraminiferen bei Auf- und Fluoreszenzlicht; B. Eng verwobene Filamente von *Marithioploca* und *Beggiatoa* mit Sedimentpartikeln kurz nach der Beprobung des Landers. C. Einzelnes *Beggiatoa* Filament mit gefärbten Polyphosphateinschlüssen. Der Durchmesser der Filamente beträgt ca. 14 μm ; (Photos: S. Roy, S. Sommer, S. Langer).

Eine Gruppe von fünf Wissenschaftler widmet sich intensiv dem Vorkommen von Foraminiferen in den Oberflächensedimenten der SMZ. Foraminiferen sind entweder selbst oder durch bakterielle Endosymbionten in der Lage anstelle des Sauerstoffs Nitrat oder Nitrit für die Energiegewinnung bei der Oxidation organischer Materie zu verwenden. Messungen zu Denitrifikationsraten einzelner Spezies, die Inkubation des Gesamtsystems sowie die Probenahme für genomische, transkriptomische und morphologische Untersuchungen stehen im Vordergrund dieser Studien. Hierzu müssen täglich hunderte von diesen kleinen

Organismen unter starker Vergrößerung mittels eines Binokkulars bei Seegang gepickt werden. Erste Messungen haben ergeben, dass die Spezies *Bolivina seminuda* und Spezies *Cassidulina sp.* in Sedimenten von 248 m Wassertiefe einen hohen Umsatz von Nitrat aufweisen. Dabei fällt auf, dass die wesentlich größere Art *Cassidulina sp.* mit ca. 56 pmol pro Individuum und Tag eine deutlich kleinere Umsatzrate von Nitrat aufweist als *Bolivina seminuda* (ca. 88 pmol pro Individuum und Tag). Beide Spezies bevorzugen anoxische Sedimente als Lebensraum. Es liegt daher nahe, dass *Cassidulina sp.* sich in anderer Weise an das Leben ohne Sauerstoff angepasst hat als *Bolivina seminuda*.

Ein erstes herausragendes Ergebnis der Foraminiferen Studien ist die Entdeckung eines intrazellularen Phosphatspeichers in *Cassidulina sp.*, der 271 pmol pro Individuum aufweist. Dies könnte der erste Hinweis auf die Nutzung einer alternativen Energiequelle durch diese Spezies sein. Benthische Foraminiferen erreichen in dieser Wassertiefe Populationsdichten von über 600 Individuen pro cm² und erlangen damit eine große Bedeutung für den Nährstoffhaushalt an dieser Station.

Die Stimmung an Bord ist sehr gut und trotz der intensiven Stationsarbeiten verläuft die Reise in einer sehr kooperativen, freundlichen und angenehmen Atmosphäre. Hierzu leistet Kapitän Rainer Hammacher und sein gesamtes METEOR Team einen großen Beitrag – vielen Dank!

Alle an Bord sind wohlauf, es grüßt herzlichst,
Stefan Sommer und das M137-Team

Meteor Reise M137, Callao – Callao, 06. – 29. Mai 2017
3. Wochenbericht, 21. Mai 2017

Stefan Sommer und das M137 Team



In der vergangenen Woche haben wir die in situ Messungen der natürlichen Stoffflüsse mittels der BIGO Lander I und II (**Biogeochemical Observatory**) am Meeresboden abgeschlossen. Bei dieser technisch sehr aufwendigen Messung wird die Aufnahme zum Beispiel von Sauerstoff oder Nitrat als auch die Abgabe von Nährstoffen (z.B. Ammonium oder Phosphat) innerhalb von benthischen Kammern erfasst. Diese Messungen wurden an 10 verschiedenen Stationen entlang des 12°S Schnitts durchgeführt. Diese decken einen Tiefenbereich von ca. 80 – 1000 m ab und sind durch unterschiedliche Bodenwasserbedingungen und Sedimentlebensgemeinschaften, z.B. dem Vorkommen von Schwefelbakterien, charakterisiert, die die Stärke der Stoffflüsse stark beeinflussen.

Zentrale Fragestellung ist zu welchem Ausmaß die Freisetzung von Nährstoffen aus dem Meeresboden den gesamten Nährstoffhaushalt in der SMZ mitbestimmt und damit über positive Rückkoppelungsmechanismen zur gegenwärtig beobachteten Ausdehnung der SMZ beiträgt. Dieser Schnitt wurde bereits während der METEOR Expedition M92 (2013), allerdings zu Zeiten des Südsommers, untersucht. Die Messungen dieser Expedition im Südherbst sollen Aufschluss über die saisonale und intra-annuelle Variabilität geben.

Auf den ersten Blick sind die Stoffflüsse beider Reisen ähnlich, Abb. 1. Jedoch sind die Messungen von M137 noch vorläufig und müssen aufgearbeitet werden. Eine tiefer gehende Interpretation der Daten steht noch aus. Auffallend ist jedoch der sehr hohe Phosphatfluss an der flachsten Station bei 74 m Wassertiefe.

Von der physikalischen Ozeanographie wurden entlang des 12°S Schnitts weiterhin CTD/O₂ Profile aufgenommen und Turbulenzmessungen mit der Mikrostruktursonde durchgeführt. Zusätzlich wurden aus den Wasserproben der CTD-Rosette Konzentrationen von Nährstoffen bestimmt. Die mit dem schiffseigenen Ocean Surveyor aufgezeichneten Strömungsmessungen zeigten in der vergangenen Woche im Vergleich zu der am Ende von M136 und am Anfang von M137 gemessenen Zirkulation eine starke Zunahme des polwärtigen Peruanischen Unterstroms (Abb. 2). Gleichzeitig nahmen der Sauerstoffgehalt und Nitratkonzentrationen am oberen Kontinentalabhang und auf dem Schelf zu, was wiederum Auswirkung auf den benthischen Lebensraum haben könnte.

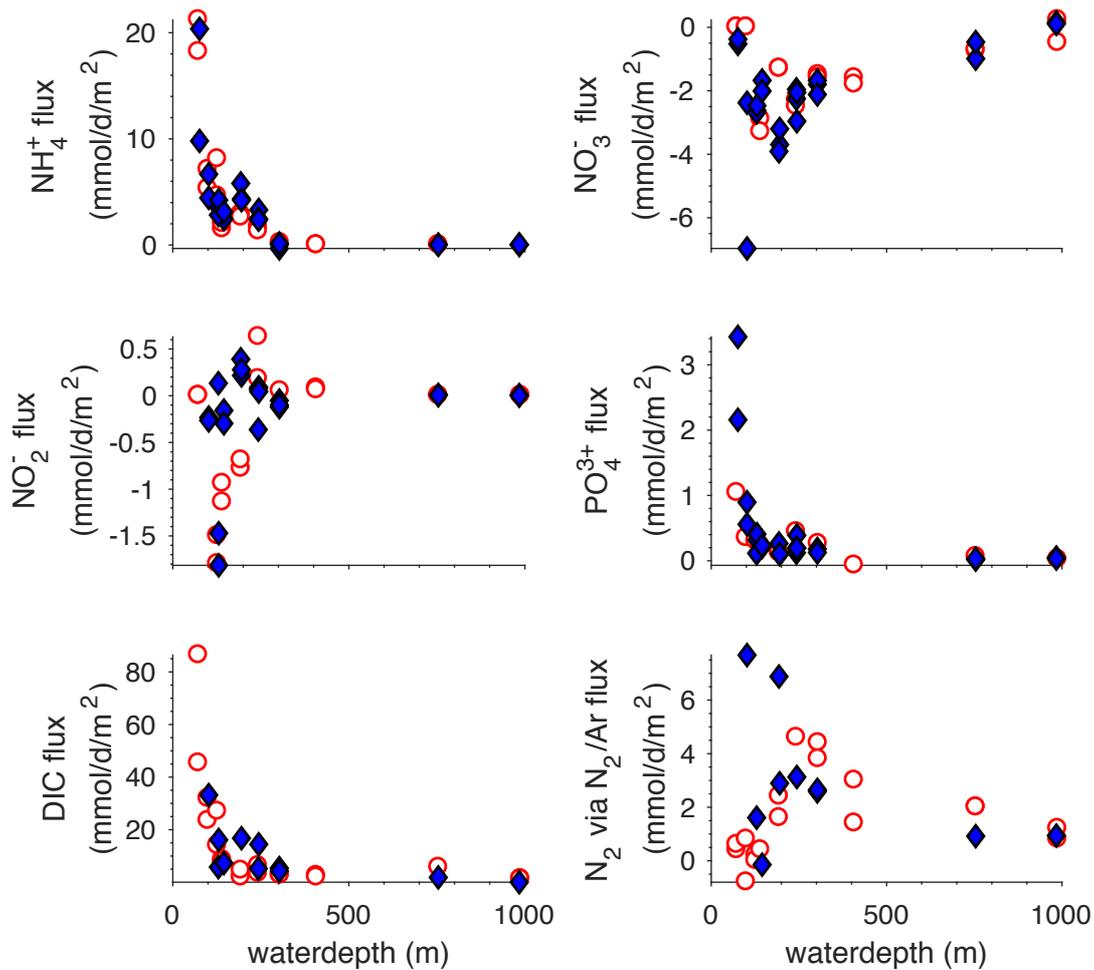


Abb. 1: Vorläufige in situ Stoffflüsse über die Sedimentwassergrenzschicht für verschiedene Parameter. Messungen, die während der M137 Reise erhoben wurden sind als blaue Diamanten im Vergleich zu den Messungen der METEOR Reise M92 (Südsommer 2013, rote offene Kreise) dargestellt.

Wir vermuten, dass die starke Strömung durch eine Schelfrandwelle verursacht wird. Diese Wellen übertragen am Äquator erzeugte Variabilität entlang der Kontinentalabhanges in die Auftriebsgebiete von Peru und Chile und spielen bei dem Klimaphänomen El Niño und La Niña eine wichtige Rolle. Selbst unseren Gleitern macht die starke Strömung zu schaffen. Momentan können sie ihre vorgegebene Mission nicht mehr ausführen und wir mussten sie ins tiefe Wasser fahren lassen um der Strömung auszuweichen.

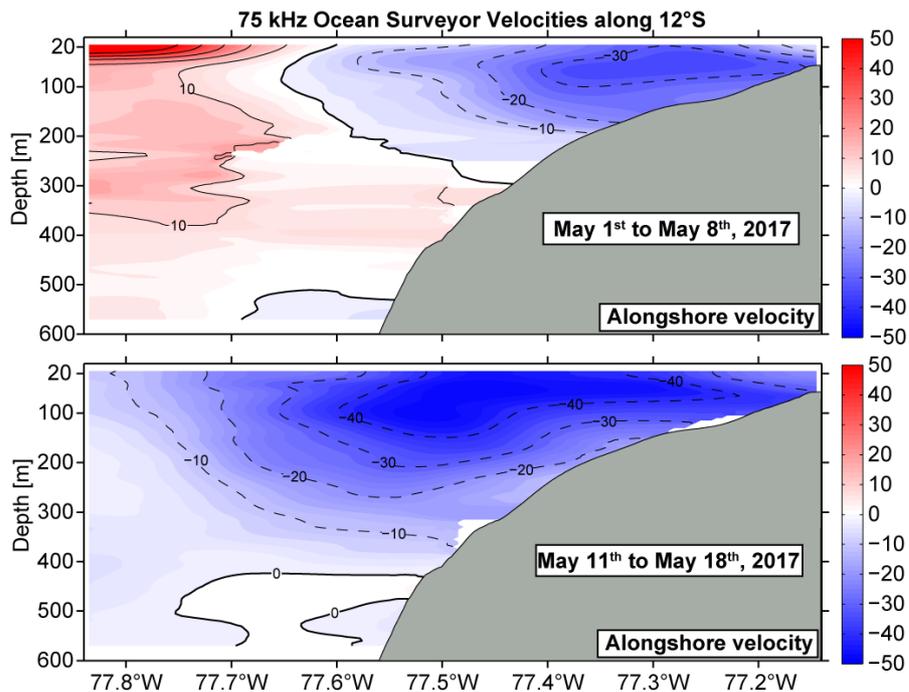


Abb. 2: Küstenparallele Strömungskomponente entlang von 12°S vom 1. - 8 Mai (oben) und dem 11. -18. Mai (unten). Negative Werte kennzeichnen südöstliche, positive Werte nordwestliche Strömungen.

Wir sind nun entsprechend der Planung dazu übergegangen die BIGO Lander für experimentelle Studien am Meeresboden zu nutzen, um den Einfluss der Nitrat- und Nitritverfügbarkeit auf die Freisetzung von Ammonium, Stickstoff, Phosphat und Eisen aus dem Meeresboden zu untersuchen. Das benthische Beprobungsprogramm hinsichtlich der Geochemie, Foraminiferen und Schwefelbakterien wird mit großem Engagement fortgesetzt und wird weiterhin durch ex situ Experimente an Bord der Meteor ergänzt.

Häufig werden unsere Arbeiten an der flachsten Station vor Callao durch neugierige Seelöwen begleitet und lautstark kommentiert, Abb. 3A, B. Auch Unterwasser treffen wir hier auf reges Leben, wobei nach kurzer Tauchfahrt hunderte von Krebsen (*Pleuroncodes monodon*) kurz vor dem Verankern des BIGO Landers von der Kamera erfasst werden. Ein späterer Blick in die Kammer des Landers (Abb. 3C) zeigt diese Organismen in hoher Dichte mit bis zu 322 Individuen pro m². Diese Art stellt mit einer Biomasse von bis zu 3.4 Millionen Tonnen (Gutiérrez et al. 2008) einen wichtigen Organismus in diesem Auftriebsökosystem vor Peru dar.

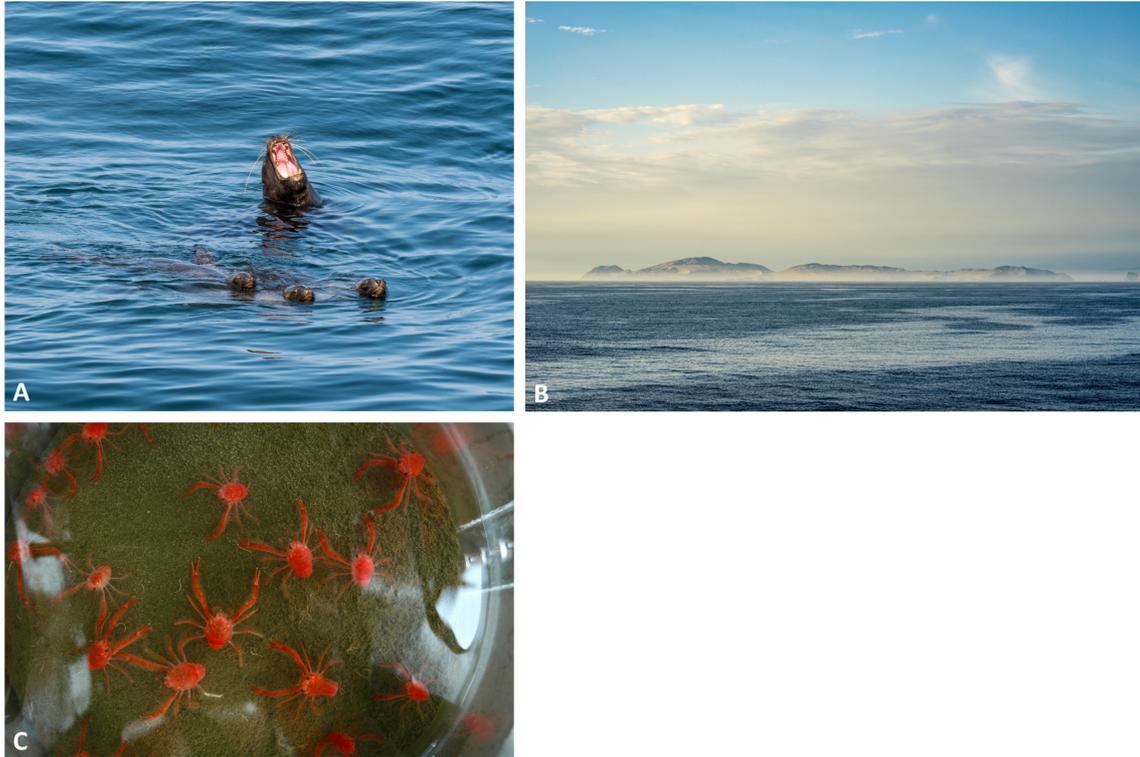


Abb. 3: A, B, Seelöwen zu Gast bei den Stationsarbeiten bei den Callao vorgelagerten Inseln Isla San Lorenzo und Isla Callao, (Photos: C. Rohleder). C, Individuen von *P. monodon* in der benthischen Kammer des BIGO Lander (Photo: S. Sommer).

Nahezu täglich werden Spurenmetallmessungen mittels einer speziellen CTD Wasserschöpfer Rosette und Radiotracer Messungen mittels in situ Pumpen in der Wassersäule durchgeführt. Hinzu kommen in situ Pumpen Einsätze um den Schwefelkreislauf in der Wassersäule besser zu erfassen.

Momentan finden unsere Arbeiten bei starker Dünung statt, die wir einem Tief vor Süd-Chile zu verdanken haben. Allen an Bord geht es sehr gut und wir kommen mit unseren Stationsarbeiten gut voran, was wir auch der sehr kooperativen, konstruktiven und freundlichen Zusammenarbeit mit dem gesamten METEOR Team zu verdanken haben.

Es grüßt herzlichst,
Stefan Sommer und das M137-Team

**Meteor Reise M137, Callao – Callao, 06. – 29. Mai,
4. Wochenbericht, 28. Mai 2017**

Stefan Sommer und das M137 Team



In der letzten Woche unserer Reise haben wir unser Stationsprogramm erfolgreich abgeschlossen und blicken auf über 270 Stationseinsätze zurück, darunter 92 Beprobungen der Wassersäule mittels der CTD Wasserschöpferrosette und 59 Mikrostrukturstationen, Abb. 1. Die Beprobung der Wassersäule umfasste ferner Einsätze der Spurenmetal-CTD-Wasserschöpferrosette, 13 Einsätze der in situ Pumpen, des Rapid Cast System und des Fish. Der Meeresboden entlang des 12°S Schnitts wurde intensiv beprobt, wobei 12 Einsätze der BIGO Lander und 45 Multicorer Einsätze zur Sedimentgewinnung durchgeführt wurden. Schwerpunkt der Lander-Arbeiten waren Experimente direkt am Meeresboden.

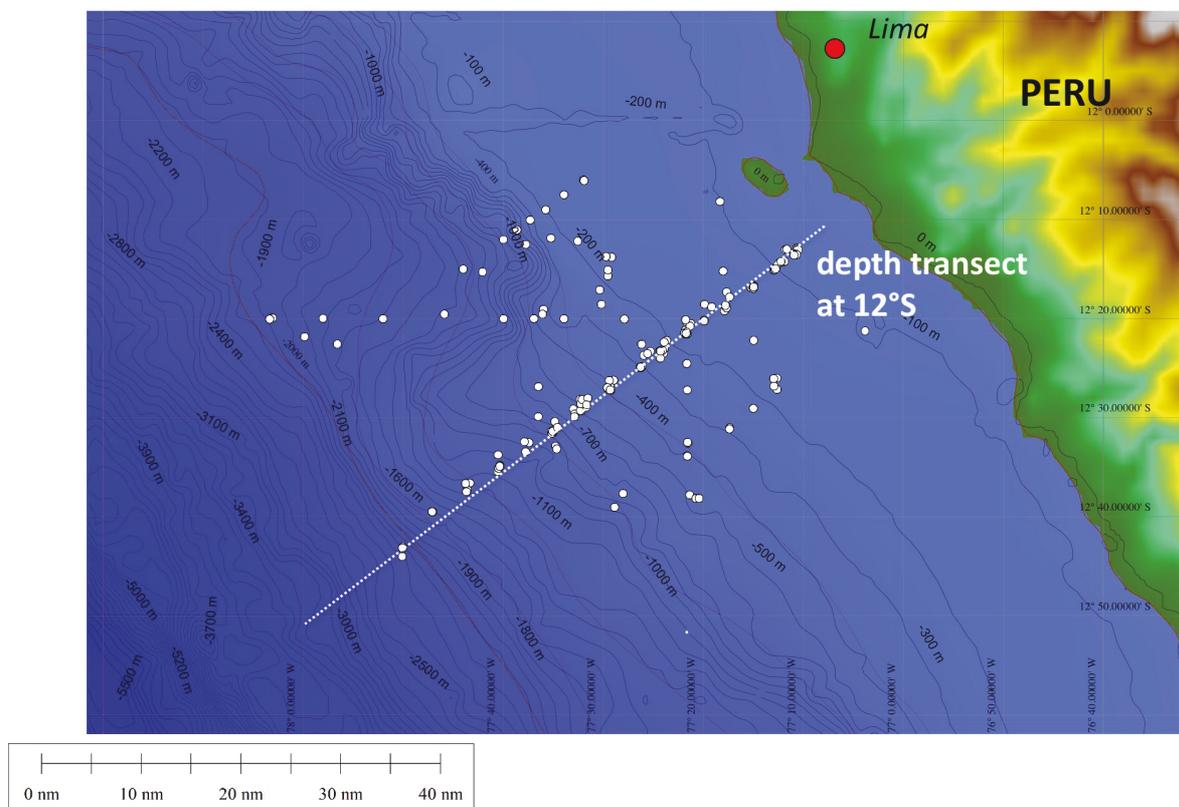


Abb. 1: Vorläufige Stationskarte der METEOR Reise M137

Im Gegensatz zu den Stofffluss-Messungen des natürlichen Hintergrunds wurde bei diesen Experimenten auf dem Schelf und dem oberen Kontinentalabhang bei Wassertiefen von 74, 129, 200 und 300 m die Auswirkung von erhöhter Nitratverfügbarkeit auf den Stoffaustausch insbesondere der Nährstoffe entlang der Sedimentwassergrenzschicht untersucht. Der Verfügbarkeit von Nitrat (NO_3^-) und im geringeren Umfang von Nitrit (NO_2^-) kommt in der Sauerstoffminimumzone vor Peru eine besondere Bedeutung im Stoffumsatz zu. Hierbei spielt vor allem deren Aufnahme und Umwandlung in Stickstoff (N_2) und Ammonium (NH_4^+) durch Foraminiferen und Schwefelbakterien eine große Rolle. Bei der Reaktion zum reaktionsträgem N_2 wird reaktiver Stickstoff aus dem Ökosystem entfernt, während dieser bei der zweiten Reaktion, die von den Schwefelbakterien durchgeführt wird, zunächst im Ökosystem erhalten bleibt. Hinzu kommt ein Experiment bei 80 m Wassertiefe bei dem der Kammer zusätzlich zu NO_3^- Sauerstoff der Kammer zugeführt wurde. Die 80 m Station befindet sich am oberen Rand der Sauerstoffminimumzone und erfährt fluktuierende Belüftungsereignisse, wie wir sie auch während unserer Reise gemessen haben, Abb.2. Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass der Meeresboden schnell auf die Nitratzugabe reagiert und sich dabei die Freisetzung von Ammonium und Phosphat ändert.

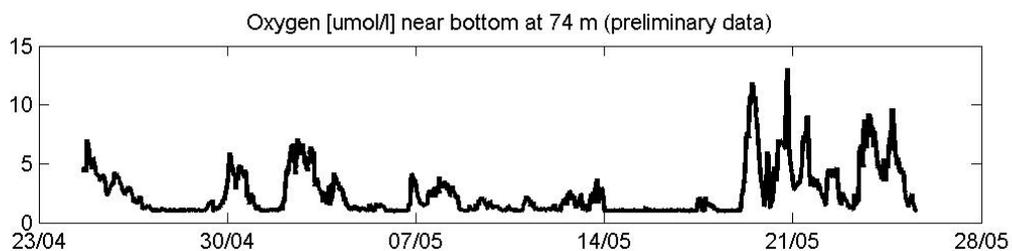


Abb. 2: O_2 Variabilität in 74 m Wassertiefe. Diese Messungen wurden von einem Miniland (SLM), der während der METEOR Reisen M136 und M137 am Meeresboden verankert war kontinuierlich durchgeführt.

Ein weiteres Highlight der Reise ist, dass die einzelligen Foraminiferen in der Lage sind artspezifisch unterschiedlich große Phosphatspeicher von bis zu 2nmol pro Individuum anzulegen. Dies wurde bisher für diese wichtige Organismengruppe nicht beschrieben. Ferner konnte gezeigt werden, dass mit zunehmender Wassertiefe bis zum unteren Rand der Sauerstoffminimumzone bei ca. 500 m der Nitratverbrauch der Foraminiferen größer wird. Es deutet sich an, dass der Stickstoffumsatz auf dem Schelf und oberem Schelfrand von den Schwefelbakterien und mit zunehmender Wassertiefe von den Foraminiferen dominiert wird, was einen deutlichen Einfluss auf die Nährstofffreisetzung dieser Region hat.

Während dieser METEOR Reise haben wir einen umfassenden und spannenden Datensatz erhoben. Wir haben hohe Erwartungen nach der eingehenden Synthese der einzelnen Teilergebnisse, die von biologischen Ratenmessungen, über natürliche Stoffflussmessungen, der in- und ex situ Experimente, der mikrobiologischen Studien, der genetischen Untersuchungen an Foraminiferen und Schwefelbakterien, bis hin zur Physik und Biogeochemie der Wassersäule reichen, einen Beitrag leisten zu können um Prozesse, die bei der voranschreitenden Expansion der Sauerstoffminimumzone wirken, besser erklären zu können.

Nach letzten Arbeiten mit den Glidern und Messungen in der Wassersäule wurden die benthischen Geräte abgebaut, verstaut und die Labore für die anstehende SFB754 Reise M138 vorbereitet. Am Montag dem 29. Mai werden wir in Callao einlaufen und hoffen hinsichtlich der Container-Logistik auf einen reibungslosen Ablauf.

Die Arbeiten an Bord sind sehr gut verlaufen und wir blicken auf eine in allen Teilen gelungene Ausfahrt zurück. Wir möchten uns dafür sehr herzlich bei Kapitän Rainer Hammacher und der gesamten Meteor Besatzung für deren großartige Unterstützung bedanken. Sicherlich hat auch die freundliche und gute Stimmung an Bord zum Gelingen dieser Reise beigetragen.



Alle an Bord sind wohlauf.
Es grüßt herzlichst,
Stefan Sommer und das M137-Team