

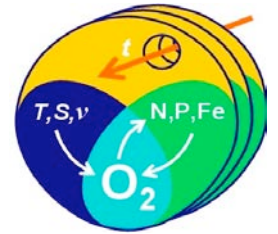


OSTRE IV

M116

(01/05/2015 – 03/06/2015)

1st weekly report, 3 May 2015



SFB 754

On Friday May 1st, 9:00 am we left the port of Pointe-a-Pitre in Guadeloupe. This was the start of Meteor cruise M116, part of the Sonderforschungsbereich 754 on the interaction of biogeochemistry and climate in the tropical ocean. The spatial and temporal variability of the oxygen minimum zone in the North Atlantic will be observed using shipboard measurements, float and glider data, as well as moorings. The



METEOR at the pier in Pointe-a-Pitre

main goal of M116 is the measurement of a tracer (a non-toxic marker substance) that was injected in the oxygen minimum zone back in December 2012. The distribution of the tracer over the last 30 months holds information on ocean circulation and mixing of water masses through turbulence and eddies. The results of this study, together

with model data will improve the understanding of current and future trends in the tropical oxygen minimum zones.



Sargassum algae are our constant companion.

On board are physical, chemical and biological oceanographers from Kiel, as well as two colleagues from Dalhousie University in Canada, scientists from University Heidelberg, MPI Hamburg and the Cape Verdes and an observer from Senegal. We are a well balanced group of 14 women and 13 men.

We are using the first two days to set up the laboratories, test all instruments and work on the underway measurement systems, using pumped surface seawater. Tomorrow, we will arrive at the first survey area and head east along 11°N. Yesterday the new colleagues were trained using the CTD and several water sampling methods during a test station.



Safety First! Safety drill during windy subtropical weather.

The weather is subtropically sunny and the mood on board is good, the food is excellent and, as always, captain and crew are extremely helpful.

Best wishes from 13° north and 54° west,

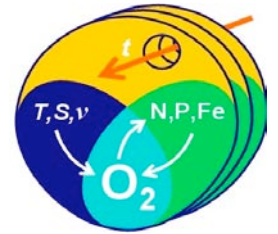
Martin Visbeck and scientific party of Meteor cruise M116



OSTRE IV

M116

(01.05.2015 – 03.06.2015)



SFB 754

2. Wochenbericht vom 10. Mai 2015

Seit Montag verläuft die Forschung auf der METEOR im Wesentlichen entlang des 11°N Breitengrades. Nachdem 45°W erreicht wurde, stoppen wir alle 60 Seemeilen und nehmen ein CTD-Kranzwasserschöpfer-Profil. Die meisten Stationen messen wir nur bis in 1200m Tiefe. Nur jede dritte Station wird bis zum Boden auf ca. 5000m Wassertiefe gefahren. Neben den elektrisch übermittelten Messungen von Druck, Temperatur, Salzgehalt, Fluoreszenz haben wir ein UVP an der CTD, der alle 5 Sekunden ein 10X10 cm Bild von Partikeln in der



Der Kranzwasserschöpfer dringt in das tiefblaue klare Wasser des subtropischen Ozeans ein.

Wassersäule macht. Die Wasserproben des Kranzwasserschöpfers werden auf CFCs, Nährstoffe, Kohlendioxid und Sauerstoff und Salzgehalt zur Eichung der CTD

Sensoren chemisch analysiert.



Nahaufnahme des Sargassum.

Nachts fangen wir mit einem Planktonnetz oberflächennahe Organismen und manchmal auch eine Sargassum Braunalge ein. Das Sargassum begleitet uns die ganze Woche und ist oft in dichten Matten zu sehen. Von den Netzfängen werden nur einige wenige Ruderfußkrebse für ein Forschungsprojekt in Kiel konserviert.



Tintenfischaug und gemusterte Haut.

Nachts auf CTD Station angeln wir wenn möglich Kalmare. Die werden dann eingefroren und für Istotopenanalysen in Kiel mitgenommen.

Die letzten zwei Tage haben wir einen Abstecher nach Süden gemacht und entlang von 40°W zwischen 7°N und 12°N fünf Stationen bis zum Boden gefahren. Die Stationen fanden an fast den gleichen Positionen statt, wie die einer großen

Expedition zur Erforschung von ozeanischer Vermischung mit Hilfe von transienten Tracern im tropischen Atlantik (TTO-TAS) im Jahr 1981.

Die Forschung in den ersten zwei Wochen entlang von 11°S ist ein Beitrag zum internationalen Programm GO-SHIP. GO-SHIP hat zum Ziel zonale und meridionale CTD-Schnitte weltweit zu wiederholen ('repeat hydrography') und damit die Veränderungen im Ozean zu dokumentieren. Eine der zentralen Variablen ist das CO₂, was als gelöster anorganischer Kohlenstoff gemessen wird ('dissolved inorganic carbon', DIC).



Krabbe im Sargassum.

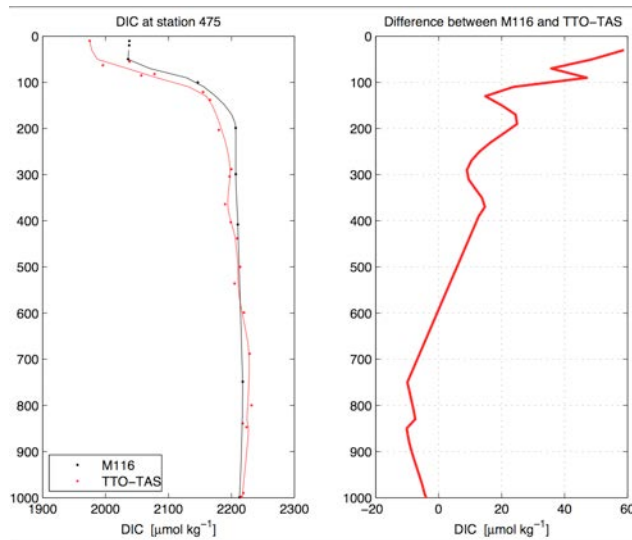


Zooplankton im Sargassum.

CO₂ ist eines der wichtigsten Treibhausgase in der Atmosphäre und durch das Verbrennen von fossilen Brennstoffen wurden bisher über 350 Milliarden Tonnen CO₂ zusätzlich von uns Menschen erzeugt. Fast die Hälfte davon (ca. 45%) ist im Ozean angekommen. Der Ozean ist damit eine der wichtigsten CO₂ Senken und hilft die Erwärmung kleiner zu halten. Die Menge des von Menschen in den Ozean hinzugefügten CO₂ ist nicht so leicht zu bestimmen, da sehr

viel CO₂ im Ozean gelöst ist und die relativen Veränderungen klein sind. Das Wiederholen von hydrographischen Schnitten mit großem Zeitabstand ist eine gute Möglichkeit die Veränderungen im Ozean direkt zu bestimmen.

Seit TTO sind 34 Jahre vergangen und der einfache Vergleich der Messdaten bei 11°N and 49°W zeigt eine gut messbare Zunahme von gelöstem CO₂ im Ozean in den oberen 300-500m Wassertiefe. Die Daten werden später sehr aufwendig ausgewertet und erlauben dann noch genauere Aussagen über die Veränderungen im Meer.



Gelöster anorganischer Kohlenstoff im Vergleich zwischen M116 (2015) und TTO (1981). Rechts ist der Unterschied berechnet.

Das subtropische Wetter zeigte sich weiterhin von seiner beständigen Seite, der Passatwind weht zum Teil recht kräftig, die Stimmung an Bord ist prima, das Essen vorzüglich und die Zusammenarbeit mit dem Kapitän und der Mannschaft weiterhin hervorragend.

Mit schönen Grüßen von 11° Nord und 38° West,

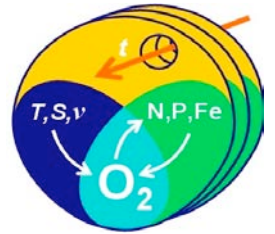
Martin Visbeck und die Fahrtteilnehmer der Reise M116



OSTRE IV

M116

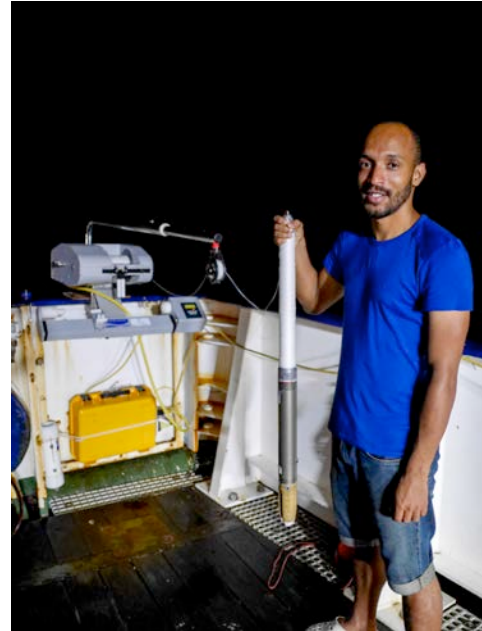
(01.05.2015 – 03.06.2015)



SFB 754

3. Wochenbericht vom 17. Mai 2015

Diese Woche haben wir die Forschung entlang des 11°N Breitengrades fortgesetzt und sind gerade dabei einen zweiten Abstecher entlang von 28°W zwischen 6°N und 12°N zu fahren. Weiterhin stoppen wir alle 60 Seemeilen und nehmen ein CTD-Kranzwasserschöpfer-Profil. Seit gestern kommt auch die Unterwegs-CTD zum Einsatz. Die U-CTD wird vom fahrenden Schiff abgeworfen und fällt bis in 400m Wassertiefe. Dann wird sie an einem dünnen Kevlarseil mit Hilfe einer Winde am Heck wieder an Board geholt. Wir bekommen ca. alle 20 Minuten ein Profil und erreichen bei 11kn Fahrgeschwindigkeit einen Messabstand von 3-4 Meilen. Zusammen mit dem ständig messenden Schiffs ADCPs erhoffen wir uns mehr Informationen über die Raumskalen und anderen physikalischen Eigenschaften von ozeanischen Wirbeln. Diese Daten helfen

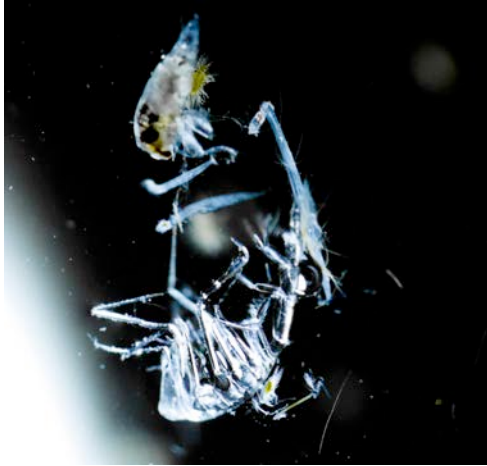


Nuno Vieira bereitet die U-CTD für den Abwurf vor.



Die U-CTD wird mit der Winde am Heck wieder eingeholt.

die horizontale Vermischung und deren Mechanismen im Ozean besser zu verstehen und später in Zirkulationsmodellen des Ozeans realistischer zu berücksichtigen.



Zooplankton unterschiedlichster Arten.

Das Sargassum begleitet uns weiterhin. Die nächtlichen Netzfänge zeigen allerdings sehr unterschiedliche Abundanzen der Meeresorganismen. Wahrscheinlich hängt das von der Menge des vorhandenen Phytoplanktons ab.

Zusammen mit den Kolleginnen von der Dalhousie Universität aus Kanada untersuchen wir den Prozess der biologischen Fixierung von Stickstoff im

Ozean. Die Art *Trichodesmium* ist eine der Diazotrophen, die Stickstoff fixieren können. Das dazu benötigte *nifH* Gen wird später im Labor aus den von uns alle sechs Stunden genommenen Proben bestimmt. Bei der Umsetzung des Stickstoffs wird Wasserstoff (H_2) in den Ozean abgegeben. Imke Grefe misst die Konzentration von Wasserstoff und kann damit eine weitere Abschätzung der Stickstofffixierung im Meer bekommen.



Trichodesmium Blüte.



Sahara Staub Ablagerung.

Das Phytoplankton braucht auch andere Nährstoffe zum Wachsen. Zum Beispiel kleine Mengen von gelöstem Eisen, das in den Tropen das Phytoplanktonwachstum limitieren kann. Das seltene Eisen kann durch den Staub aus der Sahara in den Ozean kommen und dort die Produktivität anregen. In den letzten Tagen sind wir unterhalb der trockenen Sahara-Luftströmung gefahren und der langsam fallende Saharastaub bedeckt zum Beispiel die Instrumente im Mastgarten der METEOR.



Astrid Eichhorn misst das Sonnenlichtspektrum.

Die Veränderungen in der Atmosphäre werden mit einem Sun-Photometer alle 15 Minuten gemessen wenn keine Wolken die Sonne verdecken. Diese Messungen erlauben es die Strahlungsbilanz der Atmosphäre zu bestimmen, und können auch die Mächtigkeit der Sahara-Luftschicht bestimmen. Die Daten werden weltweit erhoben und in eine Datenbasis der NASA eingespeist.

Eisen, Zink und andere Spurenmetalle werden kontinuierlich im Oberflächenwasser gemessen. Dazu ziehen wir die ganze Fahrt einen „Fisch“ neben dem Schiff her. Der Fisch mit angeschlagenem Schlauch ermöglicht von der METEOR unbeeinflusstes Wasser in den Reinraumcontainer an Board zu pumpen. Schon geringste Mengen von Eisen aus dem Schiffsrumpf oder des CTD Drahts würden die Messungen verfälschen. Stickstoff, Eisen und andere Nährstoffe sind wichtige Voraussetzungen für ein produktives Phytoplankton-Ökosystem.

Das Zooplankton ernährt sich von dem Phytoplankton und bildet selbst die Nahrungsgrundlage für Fische und andere Lebewesen. Wir messen alle sechs Stunden die Phytoplankton-Fluoreszenz des Oberflächenwassers. Diese Daten können dann zur Kalibrierung von Satellitenmessungen der Fluoreszenz verwendet werden.

Das subtropische Wetter zeigte sich weiterhin von seiner beständigen Seite, der Passatwind ist schwach geworden, die Stimmung an Bord ist prima, das Essen inklusive Grillfest an Deck vorzüglich und die Zusammenarbeit mit dem Kapitän Rainer Hammacher und der Mannschaft weiterhin hervorragend.

Mit schönen Grüßen von 8° Nord und 28° West,

Martin Visbeck und die Fahrtteilnehmer der Reise M116

Eisen, Zink und andere Spurenmetalle werden kontinuierlich im Oberflächenwasser gemessen. Dazu ziehen wir die ganze Fahrt einen „Fisch“ neben dem

Schiff her. Der Fisch mit angeschlagenem Schlauch ermöglicht von der METEOR unbeeinflusstes Wasser in den Reinraumcontainer an Board zu pumpen. Schon geringste Mengen von Eisen aus dem

Schiffsrumpf oder des CTD Drahts würden die

Messungen verfälschen. Stickstoff, Eisen und

andere Nährstoffe sind wichtige Voraussetzungen für ein produktives Phytoplankton-Ökosystem.

Das Zooplankton ernährt sich von dem

Phytoplankton und bildet selbst die

Nahrungsgrundlage für Fische und andere

Lebewesen. Wir messen alle sechs Stunden die

Phytoplankton-Fluoreszenz des

Oberflächenwassers. Diese Daten können dann zur Kalibrierung von Satellitenmessungen der

Fluoreszenz verwendet werden.



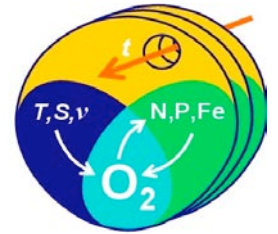
Tom Browning setzt den Pump-Fisch aus.



OSTRE IV

M116

(01.05.2015 – 03.06.2015)



SFB 754

4. Wochenbericht vom 24. Mai 2015

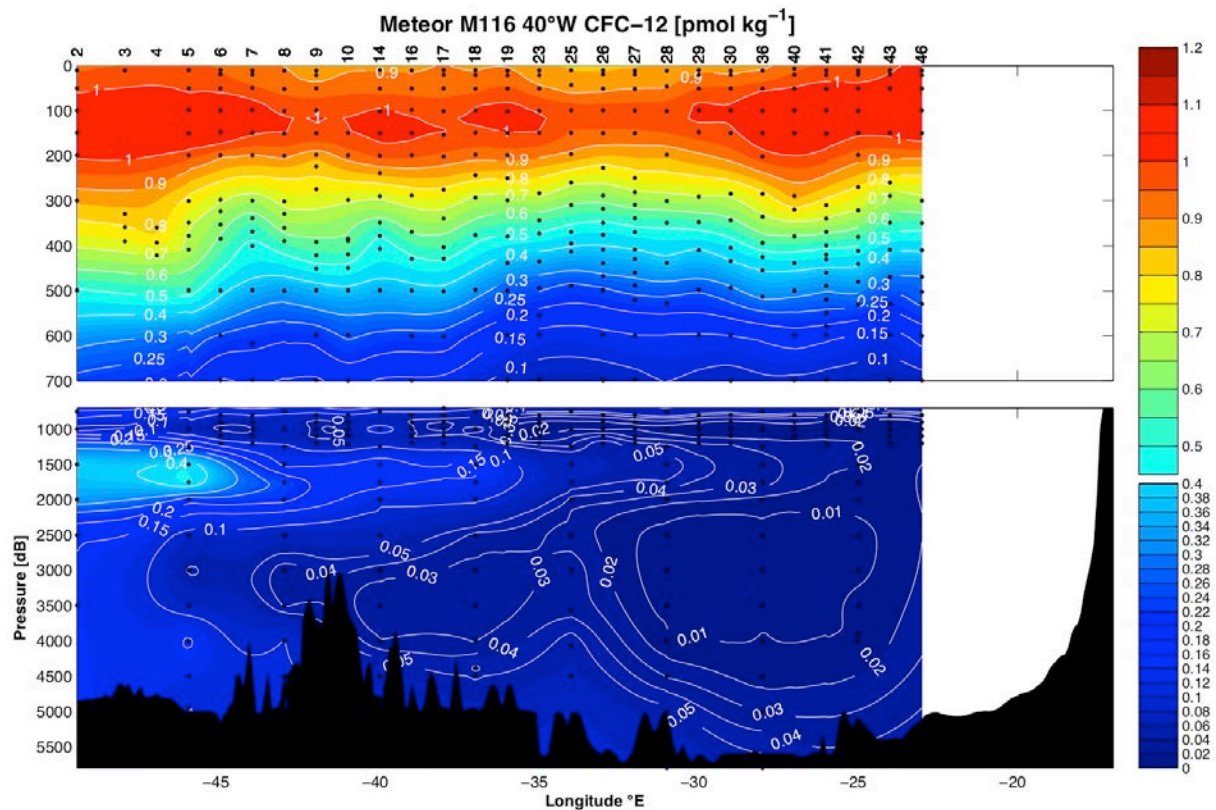
Diese Woche haben wir die Forschung entlang des 11°N Breitengrades weitgehend beendet und mit der Tracervermessung durch ein regelmäßiges Gitter zwischen 12°N und 23°W und 8°N und 19°W begonnen. Weiterhin stoppen wir alle 60 Seemeilen und nehmen ein CTD-Kranzwasserschöpfer-Profil.

Wir haben diese Woche den Start für eine hoffentlich neue Ära in der Tracerozeanographie gemacht. Zum ersten Mal seit 30 Jahren wurden Wasserproben genommen, die später in Heidelberg aufgearbeitet werden, um die Menge des zerfallenden Argon-39 Isotops zu messen. Vor 30 Jahren mussten dazu 200 Liter Wasserschöpfer am Seriedraht gefahren werden und diese dann in Bern über sechs Wochen lang vermessen werden. Heute brauchen wir nur 20-30 Liter und nutzen das Wasser aus vier Schöpfern einer Wassertiefe. Die

Halbwertszeit von Argon-39 ist mit 269 Jahren optimal um das ‚Alter‘ von Wassermassen zu bestimmen. Also die Zeit seit dem es zuletzt im direkten Kontakt mit der Atmosphäre an der Meeresoberfläche war. Bei der neuen ATTA (Atom Trap Trace Analysis) Analysemethode werden die einzelnen Argon-39 Atome unserer Wasserprobe gezählt. Allerdings sind solche Isotope extrem selten – unter einer Billiarde Argon-Atomen findet sich nur ein einziges Argon-39 Isotop. Die modernste Laseranalytik in Heidelberg öffnet hier neue Perspektiven für die Meeresforschung.



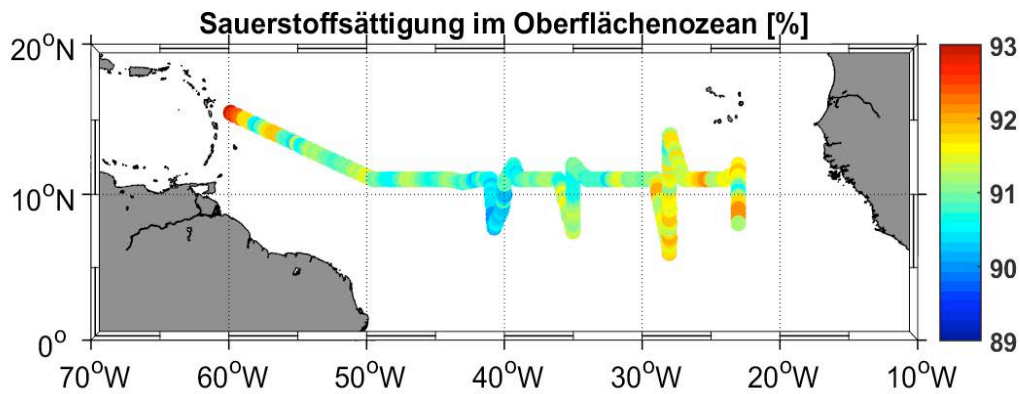
Toste Tanhua, Arne Kersting und Boie Bogner halten stolz die erste Probe für Argon-39 Messungen mit der neuen ATTA Methode aus 4000m Wassertiefe hoch.



CFC-12 Konzentrationen entlang 11°N. Dunkel blaue Farben zeigen CFC freies Wasser was auf ein hohes Alter von mehr als 100-200 Jahren hindeutet. Bei 1500m Wassertiefe im Westen erkennt man das relativ junge Labradorseewasser mit hohen CFC Werten. Das Antarktische Bodenwasser unterhalb von 4000m Wassertiefe zeigt erste Spuren des CFC.

Die Messungen entlang des 11°N Schnittes von CFC-12 Konzentrationen zeigen klar die Unterschiede in den Wassermassen. Überall wo CFC-12 vorhanden ist war zumindest ein Teil des Wassers seit 1950 an der Wasseroberfläche. Damit können wir das ‚Alter‘ des Wassers sicher über die letzten 50 Jahre bestimmen und mit immer größer werdenden Fehlern über 200 Jahre. Argon-39 wird diese Altersschätzungen für das Tiefenwasser in dem Zeitfenster von bis zu mehreren Hundert Jahren signifikant verbessern.

Tobias Hahn erprobt seit Beginn der Fahrt neuartige optische Sauerstoffsensoren, die eine schnellere Ansprechzeit gegenüber bereits etablierten Sauerstoffsensoren versprechen. Die Sensoren werden bei einer Vielzahl von CTD-Profilen bis zu Tiefen von über 5000 m und in einer kontinuierlich messenden Apparatur für die Ozeanoberflächenwasser eingesetzt und hinsichtlich ihrer Performanz erprobt. Als Referenz für die Erprobung dienen Messungen eines anderen Sauerstoffsensors, des Gesamtgasdrucks, sowie täglich gezapfte, diskrete Sauerstoffproben.



Kontinuierliche Messungen der Sauerstoffsättigung im Oberflächenwasser.

Langfristig könnte der neuartige Sauerstoffsensor das schon auf der Meteor fest integrierte, autonome und kontinuierlich arbeitende Messsystem erweitern. Diese Art der kontinuierlichen Bestimmung von ozeanographischen Parametern im Oberflächenozean gewinnt zunehmend an Bedeutung. Solche Daten helfen die komplexen physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen besser zu verstehen und gleichzeitig ermöglichen sie Trendanalysen die ein wichtiger Beitrag zur Klimaforschung sind. Mittlerweile werden solche autonome Messsysteme weltweit nicht nur auf Forschungsschiffen, sondern auch auf Fracht- und Passagierschiffen operationell betrieben, um eine gute zeitliche und räumliche Datenauflösung zu gewährleisten.

Eine andere Art der Dauermessung im Ozean wird von Oberflächenbojen des PIRATA Programms ermöglicht. Im Atlantik befinden sich fast 20 dieser Messsysteme und werden durch eine Kooperation zwischen den USA, Frankreich und Brasilien unterhalten. Die Bojen übermitteln die Daten in Echtzeit und stehen dann frei über das Internet zur Verfügung.

Die Informationen werden unter anderem für das Eichen von Satellitendaten genutzt, erlauben es Wettervorhersagen zu verbessern und ermöglichen modellgestützte Klimavorhersagen für die nächste Saison und kommenden Jahre. Peter Brandt aus Kiel hat an der amerikanischen PIRATA Bojenverankerung bei 11.5°N und 23°W Sauerstoffsensoren angebracht, die zur Erforschung der Sauerstoffminimumzonen in unserem SFB beitragen. Wir hoffen diese Messungen



Amerikanische PIRATA Boje bei 11.5°N und 23°W.

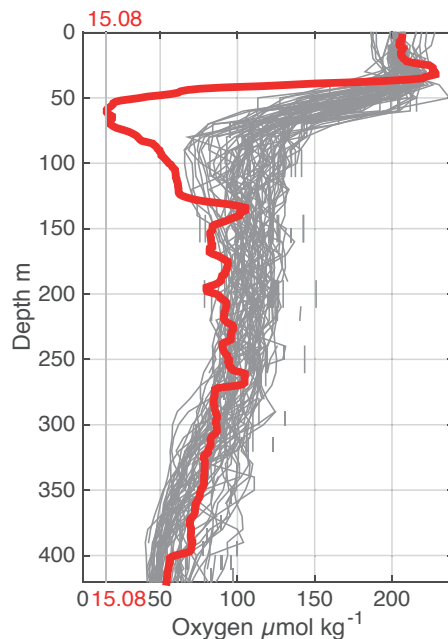
über viele Jahre auch nach der Laufzeit des SFB fortsetzen zu können, um die langfristigen Veränderungen zu dokumentieren. Eine visuelle Inspektion mit der METEOR zeigte, dass alle Sensoren unbeschädigt auf der Boje zu erkennen waren.

Am Freitagabend haben wir eine besondere Entdeckung gemacht. Niemals zuvor in den fast zehn Jahren intensiver Sauerstoff-Messkampagnen oder in den 50 Jahren historischer Messungen hat man einen Wert von unter $35 \mu\text{mol/kg}$ südlich der Kap Verden gefunden. Bei 8°N und 23°W in 50-70m Wassertiefe wurde eine extrem niedrige Sauerstoffkonzentration von $15 \mu\text{mol/kg}$ gemessen. Solche Werte kennt man von dem schwach belüfteten Pazifik. Im Atlantik ist das eigentlich nur durch extrem hohe Sauerstoffzehrung erklärbar. Leider hatten wir keine Zeit die räumliche Skala dieser flachen Minimumzone genauer zu bestimmen.

Das subtropische Wetter zeigte sich weitgehend von seiner beständigen Seite, der Passatwind ist wechselhaft geworden, die Stimmung an Bord bleibt prima, das Essen inklusive einem ausgezeichnetem Pfingstfestmahl vorzüglich und die Zusammenarbeit mit dem Kapitän Rainer Hammacher und der Mannschaft weiterhin hervorragend.

Mit schönen Grüßen von 11° Nord und 22° West,

Martin Visbeck und die Fahrtteilnehmer der Reise M116



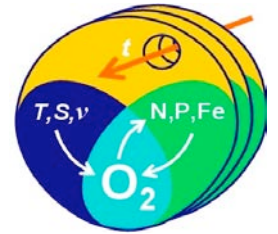
CTD Station bei 8°N und 23°W zeigt extrem niedrigen Sauerstoffwert (rote Linie). Graue Linien zeigen alle historischen Daten.



OSTRE IV

M116

(01.05.2015 – 03.06.2015)

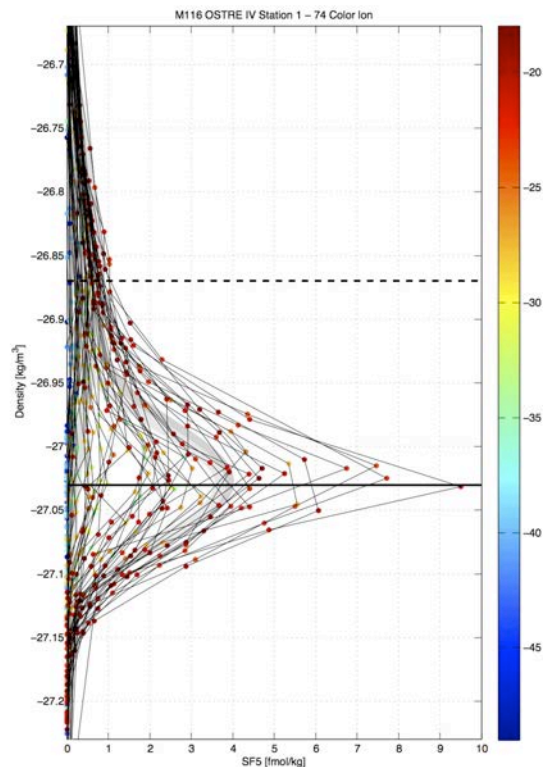


SFB 754

5. Wochenbericht vom 31. Mai 2015

Während unserer letzten vollen Woche an Board haben wir die Tracer-Vermessung im Gitter zwischen 12°N und 23°W und 8°N und 19°W und die hydrographischen Arbeiten entlang des 11°N Schnitts abgeschlossen.

Im Dezember 2012 wurde der Tracer, ein ungiftiges sehr stabiles Gas, auf einer Dichtefläche im Ozean bei 10.5°N und 21°W versprüht. Unsere Reise ist die dritte und letzte vollständige Tracer-Vermessung und folgt auf Meteor Ausfahrten nach 7 und 16 Monaten (M97 und M105). Nach mittlerweile 30 Monaten erkennt man, dass sich der Tracer vertikal weiter ausgedehnt hat. Die von dem Tracer markierte Schicht ist jetzt mehr als 300m mächtig. Aus der Verbreiterung der Schicht mit der Zeit kann man die mittlere Stärke der vertikalen Vermischung exakt bestimmen. Das ist eine wichtige Größe für Ozean- und Klimamodelle. Durch die vertikale Vermischung wird Sauerstoff aus den oberen besser belüfteten Schichten in die Sauerstoffminimumzone transportiert.



Tracerkonzentrationen als Funktion der nach unten zunehmenden Dichte (und Wassertiefe). Die horizontalen Linien zeigen wo der Tracer in 2012 (durchgezogenen Linie) und in 2008 (gestrichelte Linie) ausgebracht wurde. Man kann beide Experimente noch gut erkennen aber mit sehr unterschiedlichen Konzentrationen.

Weiterhin interessiert uns die horizontale Ausbreitung des Tracers. Dazu bestimmen wir die Menge des Tracers aufsummiert zwischen 100 und 800m Tiefe an jeder Station und tragen diese dann auf einer Karte ein. Ausgebracht wurde der Tracer auf

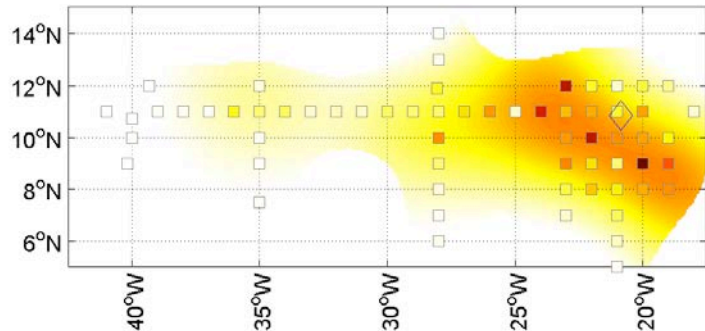
einem quadratischen Gebiet mit 10 sm Kantenlänge. Das ist so klein, dass man es auf der Karte nicht mehr auflösen kann. Man erkennt, dass der Tracer sich mehr in ost-west als in nord-süd Richtung ausgebreitet hat. Die nord-süd Ausdehnung wird vor allem durch Vermischung von 20-150km großen mesoskaligen Wirbeln bewirkt. Die stärkere Ausbreitung nach Westen führen wir auf mittlere zonale Strömungen mit Geschwindigkeiten von 2-5 cm/s zurück, die entlang von 11°N nach Westen setzen.

Am Montag werden wir noch einen Gleiter aufnehmen und am Dienstag die Dauermessstation nördlich der Kap Verde Inseln besuchen.

Am Mittwoch geht die sehr erfolgreiche Reise zu Ende. 81 CTD Stationen haben 2000 Wasserproben zur Analyse an Deck gebracht. Wir konnten

Daten von hervorragender Qualität gewinnen, die über die Veränderungen im Ozean, aber auch über die Prozesse im Kontext von Sauerstoffminimumumzonen im tropischen Nordatlantik informieren.

Das subtropische Wetter zeigte sich weitgehend von seiner beständigen Seite, der Passatwind war stellenweise kaum noch zu spüren, die Stimmung an Bord bleibt prima, das Essen weiterhin vorzüglich und die Zusammenarbeit mit dem Kapitän Rainer Hammacher und der Mannschaft war auf der ganzen Reise vorbildlich.



Verteilung der vertikal gemittelten Tracerkonzentration. Dunkle Farben in den Quadraten zeigen hohe gemessenen Konzentrationen an. Die schwarze Raute markiert den Aussetzpunkt des Tracers in 2012.



Wissenschaft der M116-1 winkt zum Abschied.

Mit schönen Grüßen von 14° Nord und 21° West, Martin Visbeck und die Fahrtteilnehmer der Reise M116