

1. Wochenbericht M145, Mindelo-Recife

13.02.-18.02.2018

Die METEOR-Reise M145 von Mindelo nach Recife begann am Dienstag, dem 13.02.2018, zum Höhepunkt des kapverdischen Karnevals. Zum Einen konnten wir so vor der Reise einen Einblick in die tollen Festivitäten und Umzüge durch die Stadt gewinnen, zum Anderen liefen aber auch die Fahrtvorbereitungen erfreulicherweise problemlos. Ein kleinerer Teil unserer Ausrüstung wurde bereits nach Catania, dem Starthafen von M144-2, geliefert und war somit schon beim Einlaufen von METEOR an Bord. Die restlichen Container wurden dann direkt am Einlauftag von METEOR in Mindelo zum Liegeplatz gebracht, und unsere Vorhut konnte bereits kurz nach dem Festmachen mit dem Auspacken der Container beginnen. Schon am Sonntag war dann fast die gesamte wissenschaftliche Besatzung an Bord. Die Labore wurden eingerichtet, Geräte aufgebaut und auch die Verankerungsarbeiten, die schon am Nachmittag des Auslauftages stattfinden sollten, vorbereitet.

Mit dem Auslaufen aus Mindelo begann dann die letzte Reise des Kieler Sonderforschungsbereiches 754 „Klima-Biogeochemische Wechselwirkungen im tropischen Ozean“. Von 2008-2019 wurden 18 SFB754-Forschungsfahrten in den tropischen Atlantik und 13 Fahrten in den tropischen Pazifik durchgeführt. Viele grundlegende Erkenntnisse konnten so über natürliche und anthropogene Veränderungen des Sauerstoffgehalts im tropischen Ozean sowie die zugrundeliegende Ozeandynamik, Biogeochemie und Biologie der tropischen Ozeane gewonnen werden. Dieses Projekt hat die interdisziplinäre Zusammenarbeit am GEOMAR aber auch mit unseren nationalen und internationalen Partnern auf eine neue Stufe gehoben. Das ist auch deutlich sichtbar bei unserer Forschungsfahrt M145, an der Forscher von 6 Teilprojekten des SFB754 sowie verschiedene nationale und internationale Gruppen teilnehmen. Die verbleibende Zeit bis zum Projektende vom SFB754 im Dezember 2019 wird dann ganz im Zeichen der Synthese von gewonnenen Beobachtungsdaten und Modellergebnissen stehen. Es wurde aber auch schon der Grundstein für eine Fortsetzung von wichtigen Datenzeitreihen, die die klimatischen Veränderungen im Ozean dokumentieren, über den SFB754-Zeitraum hinaus gelegt. So wird die interdisziplinäre CVOO (Cape Verde Ocean Observatory) Verankerung weiterhin vom GEOMAR betrieben. In Kooperation mit dem EU Projekt AtlantOS und dem internationalen PIRATA Programm werden Sauerstoff- und Strömungsmessungen zukünftig verstärkt an PIRATA Verankerungen durchgeführt. Die weitere Entwicklung des Sauerstoffs und insbesondere die langfristige Sauerstoffabnahme im Ozean und deren Folgen wird sicher auch in den kommenden Jahren und Jahrzehnten ein wichtiges Forschungsfeld bleiben.



Abb. 1: Auslaufen von METEOR aus dem Hafen von Mindelo am 13 Februar. Verankerungsmaterialien, wie Auftriebskörper und Drähte stehen schon bereit für die erste Verankerungsauslegung am Folgetag (Foto: PB).

Nach dem Auslaufen aus dem Hafen von Mindelo (Abb. 1) war die Aufnahme der CVOO Verankerung unsere erste Aktivität. Nach erfolgreicher Bergung wurden bereits die ersten Zeitreihen analysiert. In Einklang mit unseren bisherigen Studien zeigen sie verschiedene Wirbel, die die Verankerung auf ihrem Weg vom nordostafrikanischen Auftriebsgebiet nach Westen passieren (Abb. 2). Sie sind durch deutlich reduzierte Sauerstoffkonzentrationen gekennzeichnet. Nach einigen CTD-Stationen in der Nacht, die auch zur Kalibration von Verankerungsgeräten genutzt wurden, konnte die CVOO Verankerung am nächsten Morgen wieder erfolgreich ausgelegt werden.

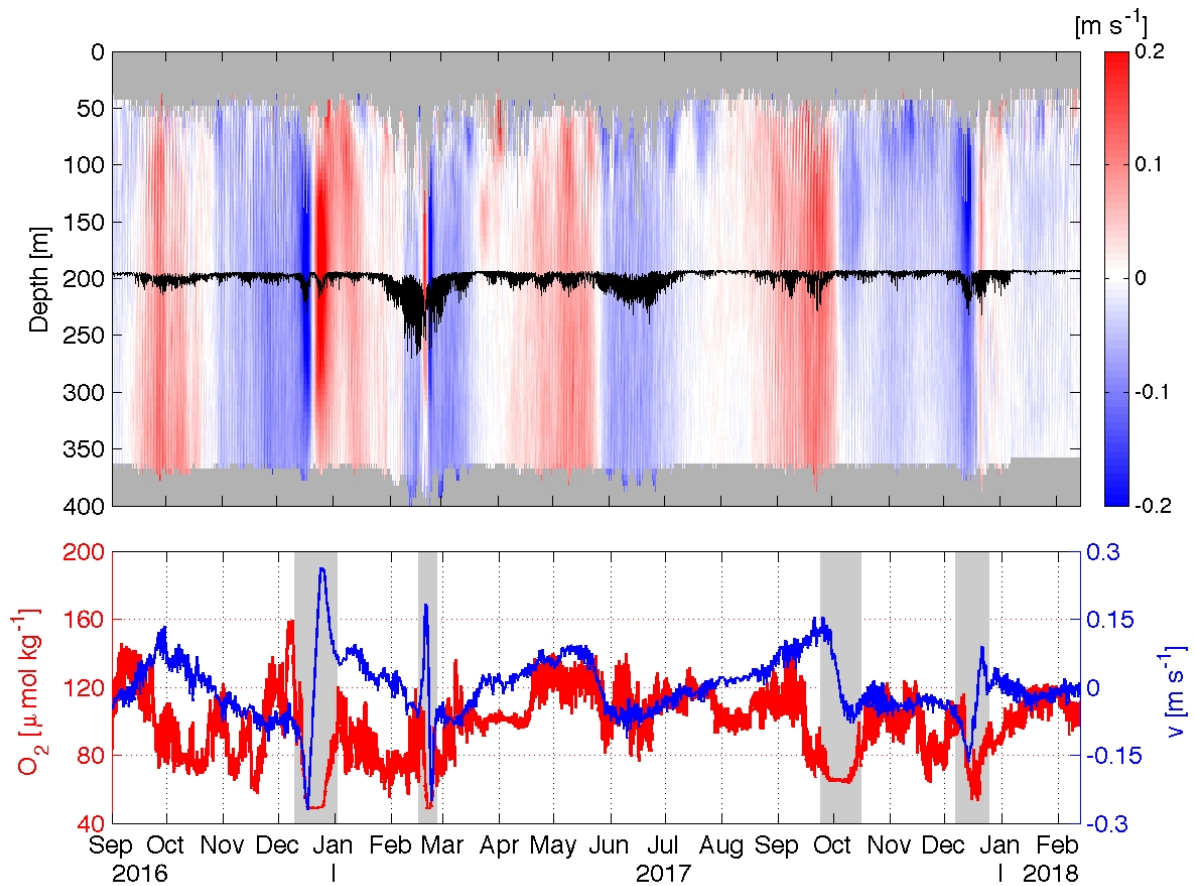


Abb. 2: Meridionale Strömung gemessen mit dem ADCP aus der CVOO Verankerung (obere Abbildung) und Sauerstoff (rot) und meridionale Strömung (blau) in etwa 200m Wassertiefe (untere Abbildung). Die gemessene Tiefe des Sauerstoffsensors ist in der oberen Abbildung als schwarze Linie dargestellt. Wirbel sind gekennzeichnet durch graue Balken in der unteren Abbildung (Abb. RH & JH).

Der hydrografische 23°W-Schnitt führte uns dann von 15°N bis 11°N. Dort, etwas östlich vom eigentlichen Schnitt, wurde die erste SFB754-Sauerstoffverankerung geborgen. Hier im Zentrum der Sauerstoffminimumzone werden typischerweise die niedrigsten Sauerstoffwerte in Tiefen von etwa 400 m gemessen. Wir sind schon gespannt, wie dieses Mal die kalibrierten Werte ausfallen werden.

Nach den ersten immer etwas aufregenden Arbeitstagen hat sich jetzt schon die Arbeitsroutine mit CTD-Sonde, Inkubationen und Wasseranalysen eingestellt. Alle Wissenschaftler fühlten sich sofort heimisch auf der METEOR. Insbesondere unsere Mitfahrer, die zum ersten Mal mit METEOR unterwegs sind, zeigten sich beeindruckt von den technischen Möglichkeiten und auch der Lebensqualität, die dieses Schiff bietet. Leider kam es zu einer Handverletzung eines Besatzungsmitgliedes, die einen Zwischenstopp in Praia und damit eine zweitägige Unterbrechung der Forschungsarbeiten erfordert. Wir wünschen gute Besserung!

Viele Grüße aus den Tropen,

Peter Brandt und die Fahrtteilnehmer der Reise M145

2. Wochenbericht M145, Mindelo-Recife

19.02.-25.02.2018

Die zweite Woche der METEOR-Reise M145 von Mindelo nach Recife konzentrierte sich auf den südlichen Teil der Sauerstoffminimumzone des tropischen Nordatlantiks. Sauerstoffminimumzonen entstehen in Gebieten mit schwachen Strömungen, d.h. schwacher Sauerstoffzufuhr, und relativ hohem Sauerstoffverbrauch verbunden mit hoher biologischer Produktion und der damit verbundenen Remineralisierung des absinkenden biologischen Materials. Geringste Sauerstoffwerte finden wir in einer Tiefe von etwa 400 m, deutlich unterhalb der ozeanischen Deckschicht, die fast immer mit Sauerstoff gesättigt ist, und oberhalb des tiefen Ozeans, den nur noch geringe Mengen absinkenden biologischen Materials erreichen und wo der Sauerstoffverbrauch sehr stark abnimmt. Die Arbeiten konzentrieren sich dabei auf Messungen mit der CTD-Rosette, die am Draht teilweise bis in 5000 m Tiefe in den Ozean gefiert wird. An der CTD-Rosette ist eine Vielzahl von Instrumenten installiert, die zum Teil ihre Daten online über den Draht an den Bordcomputer liefern, zum Teil intern Daten aufzeichnen und zudem Wasserproben aus unterschiedlichen Tiefen für biogeochemische Analysen und Experimente mit an Deck befördern.

Von unseren Mitfahrern vom MPI für Marine Mikrobiologie werden im Rahmen vom SFB754 Wasserproben aus den oberen beleuchteten Schichten zur Bestimmung von Stickstofffixierungs- und Primärproduktionsraten genommen. Stickstoff ist ein essentieller Nährstoff für alle lebenden Organismen. Er muss jedoch in bestimmter Form vorliegen, um von den meisten Organismen aufgenommen und genutzt werden zu können. Stickstoffgas, die dominante Form von Stickstoff in der Atmosphäre, kann von dem Großteil aller Organismen nicht genutzt werden. Allerdings gibt es bestimmte prokaryotische Mikroorganismen die das Stickstoffgas "fixieren", es also in biologisch nutzbare Formen umwandeln können. Stickstofffixierung stellt eine wichtige Stickstoffquelle für die photosynthetisierenden Primärproduzenten dar. Primärproduzenten, zum Beispiel Mikroalgen, haben wiederum die Fähigkeit das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO₂) in Biomasse umzuwandeln. Sie bilden damit die Grundlage der Nahrungskette. Um diese beiden wichtigen biogeochemischen Prozesse untersuchen und quantifizieren zu können, werden Wasserproben aus verschiedenen Tiefen mit stabilen Stickstoff- und Kohlenstoffisotopen versetzt, um die Aufnahme der Isotope zur Biomasse später massenspektrometrisch messen und quantifizieren zu können.



Abb. 1: Abwurf des Ankersteins am Ende der Auslegung der äquatorialen Verankerung bei 23°W (Foto: TF).

Die zweite Woche der METEOR-Reise M145 endete mit den Verankerungsarbeiten bei 23°W am Äquator. Hier wird seit Dezember 2001 eine Verankerung zum Vermessen der äquatorialen Strömungen betrieben. Diese Verankerung wurde zunächst im Rahmen von französischen Forschungsprojekten begonnen und später in Kooperation vom internationalen PIRATA Programm und verschiedenen deutschen Projekten (BMBF RACE, SFB754) fortgesetzt. So wird diese Verankerung, die weltweit als einzige Verankerung äquatoriale Strömungen von der Oberfläche bis zum Meeresboden misst, seit 2006 etwa alle anderthalb Jahre während unserer Fahrten geborgen und wieder ausgelegt. Viele Veröffentlichungen resultieren aus diesen Daten, in denen zunächst starke Strömungen mit mehrjährigen Schwankungen dokumentiert, sowie in Kombination mit anderen Daten und Modellen, deren Bedeutung für die Sauerstoffverteilung im Ozean oder das Klima in den Tropen diskutiert wurden. Immer wieder werden die Daten des tief-profilierenden Instruments mit großer Spannung erwartet. Dieses Mal hat es wieder nahezu vollständige Daten der tiefen Zirkulation geliefert (Abb. 2). Mit den Verankerungsarbeiten am Äquator und den zuvor geborgenen Verankerungen im Zentrum (bei 11°N) und am südlichen Rand (bei 5°N) der Sauerstoffminimumzone des tropischen Nordatlantiks enden die Verankerungsarbeiten im Rahmen des SFB754. Fast alle Instrumente unserer SFB754 Verankerungen haben vollständige Daten geliefert und werden so einen wesentlichen Beitrag zur Synthese der Ergebnisse in der letzten Phase des SFB754 leisten.

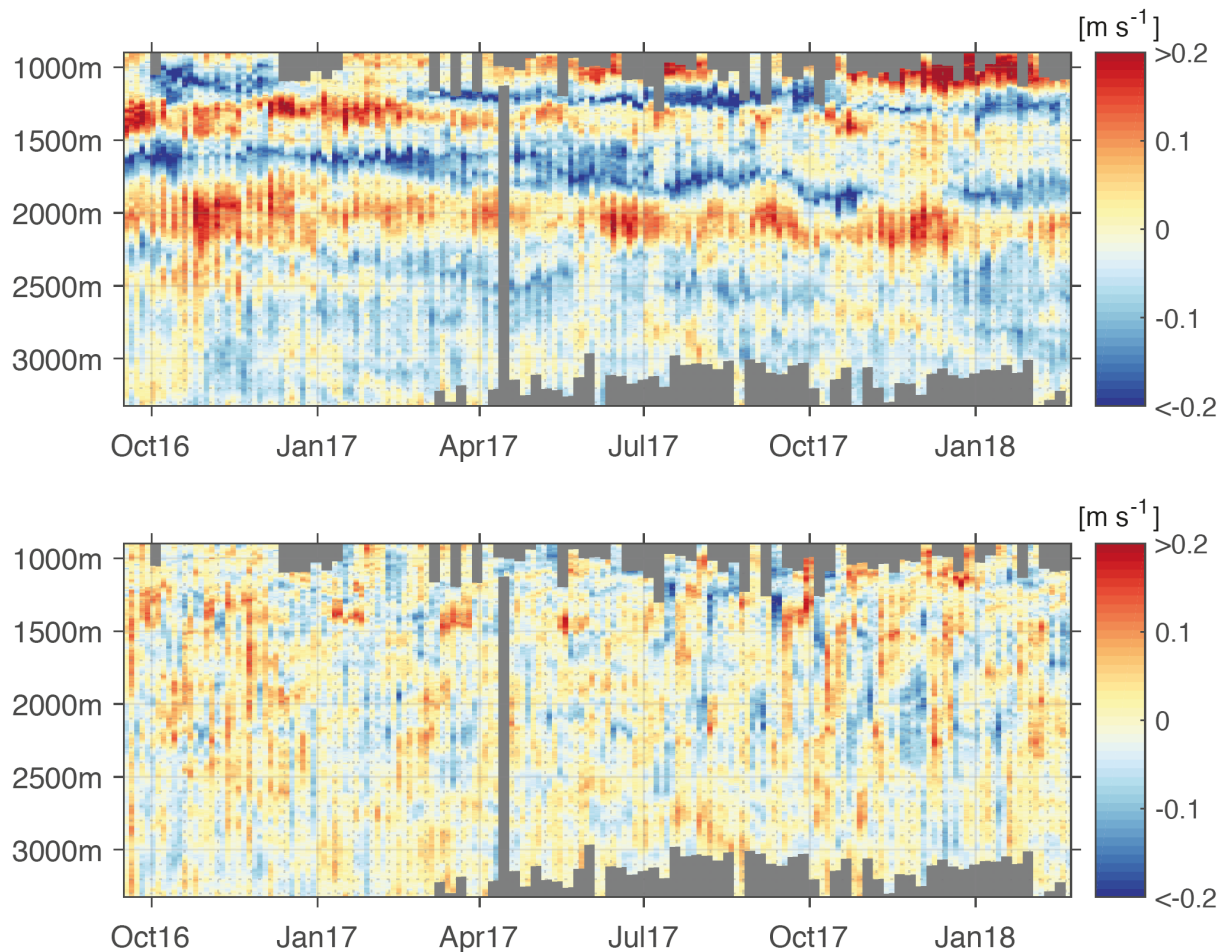


Abb. 2: Zonale (oben) und meridionale (unten) Strömung gemessen bei 23°W am Äquator mit einem am Verankerungsdraht alle sechs Tage auf und ab fahrenden Instrument. Sehr schön sind die ost- und westwärts laufenden Jetströmungen (oben, rot ostwärtige und blau westwärtige Strömung) zu erkennen, deren Phase sich langsam nach unten bewegt. Die Meridional Komponente der Strömung wird dagegen durch monatliche Schwankungen dominiert, besonders deutlich Ende 2017 (Abb. FPT).

Vom Äquator geht es jetzt weiter nach Süden, bevor wir dann Mitte nächster Woche nach Westen Richtung Brasilien abbiegen werden. Mittlerweile liegen wir auch fast wieder im Plan dank der überdurchschnittlichen Fahrtgeschwindigkeit von METEOR aber insbesondere auch aufgrund des sehr reibungsfreien und professionellen Arbeitens an Bord. Kleinere technische Probleme werden sofort behoben und insbesondere die sehr gute Zusammenarbeit zwischen Schiffsführung, Mannschaft und wissenschaftlicher Besatzung erlaubt ein sehr effektives Bergen und Auslegen unserer Tiefseeverankerungen. Hier möchten wir uns noch besonders bei der Besatzung für das professionelle Arbeiten und die durchweg sehr positive Arbeitsstimmung an Bord bedanken.

Viele Grüße aus den Tropen,
Peter Brandt und die Fahrtteilnehmer der Reise M145

3. Wochenbericht M145, Mindelo-Recife

26.02.-04.03.2018

Mitte der dritten Woche der METEOR-Reise M145 von Mindelo nach Recife konnten wir die hydrographischen Messungen entlang von 23°W von 15°N bis 6°S beenden. Das Beobachtungsprogramm in diesem Gebiet beinhaltete Profile mit der CTD-Rosette und angeschlossenen Geräten, die Temperatur-Salzgehalt-Tiefe, Sauerstoff, Partikelgrößenklassen mit einer Unterwasserkamera und Geschwindigkeit mit akustischen Doppler-Strömungsmessern vermessen. An den Verankerungen und in der Nähe von PIRATA Bojen wurden Mikrostrukturprofile gemessen. Wasserproben wurden auf zahlreiche Größen wie Salzgehalt, Sauerstoffkonzentration, Spurengaskonzentrationen und Nährstoffe analysiert oder gefiltert, um Zellen zu zählen und DNA/RNA oder Chlorophyll a Proben zu entnehmen. Die oberflächennahe Spurenmetallkonzentration wurde zusätzlich kontinuierlich von einem geschleppten Instrument gemessen. Darüber hinaus wurden an Bord von METEOR Inkubationen zur Quantifizierung der Stickstoff- und Kohlenstofffixierung sowie der Primärproduktivität durchgeführt. Das Messprogramm konnte erfolgreich abgeschlossen und bereits eine erste Analyse eines Teils der Daten, insbesondere der transienten Tracer- und CTD-Daten, durchgeführt werden.

Die Spurengasvermessung entlang 23°W beinhaltete die Messung von CFC-12, einer Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffverbindung (FCKW), und von Schwefelhexafluorid (SF₆) in den oberen 1300m zwischen 15°N und 5°N sowie bis zum Meeresboden in der äquatorialen Region zwischen 5°N und 5°S. Die Partialdruckverteilung für die äquatoriale Region ist für CFC-12 in Abb. 1 und für SF₆ in Abb. 2 dargestellt.

Diese Spurengase gelangen allein über den Gasaustausch mit der Atmosphäre in den Ozean. Der Eintrag von der Oberfläche in das Innere der Ozeane erfolgt dann über Ventilationsprozesse, wie zum Beispiel die Tiefenwasserbildung im Nordatlantik, oder die Bildung von Zentralwasser durch Subduktion in den Subtropen. Der zeitliche Verlauf der Konzentration dieser Spurengase in der Atmosphäre liefert dann die entsprechenden Zeitinformationen, welche zur Bestimmung verschiedener „Alter“ herangezogen werden können. Als Alter einer Wassermasse bezeichnet man den Zeitraum seit ihrem letzten Kontakt mit der Atmosphäre. Der Hauptunterschied von CFC-12 und SF₆ liegt in ihrer unterschiedlichen Freisetzungsgeschichte. CFC-12 wurde bereits ab den späten 1920er Jahren in die Atmosphäre eingebracht, während SF₆ erst in den 1950er Jahren im großen Maßstab produziert wurde. Aus diesem Grund kann CFC-12, im Gegensatz zu SF₆, bereits in weniger ventilierten oder älteren Wassermassen gefunden werden, wie unsere Messungen entlang der 23°W Schnitte deutlich zeigen (Abb. 1 und 2).

Die erhöhten CFC-12- und SF₆-Konzentrationen in den tieferen Wasserschichten sind mit vergleichsweise jungem nordatlantisches Tiefenwasser im Tiefenbereich von 1500-4000m verbunden. Dieses Wasser, das im subpolaren Nordatlantik gebildet wird, folgt dem Kontinentalabhang von Nordamerika bis zum Äquator, wo es sich bei ungefähr 2°S ostwärts, weg von der brasilianischen Küste in das innere Becken entlang des Südabhangs des Mittelatlantischen Rückens ausbreitet. Signale höherer Spurengaskonzentration sind mit höheren Sauerstoffkonzentrationen verbunden (Abb. 3), die eine stärkere Belüftung dieser Wasserschichten anzeigen.

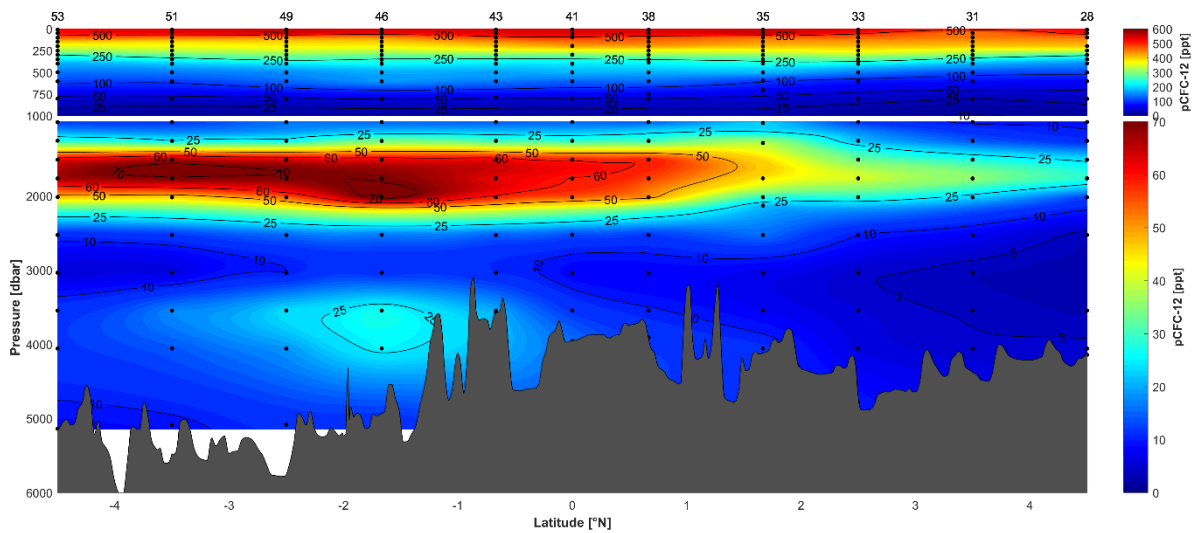


Abb. 1: Verteilung des Partialdrucks von CFC-12 entlang von 23°W (Abb.: TS).

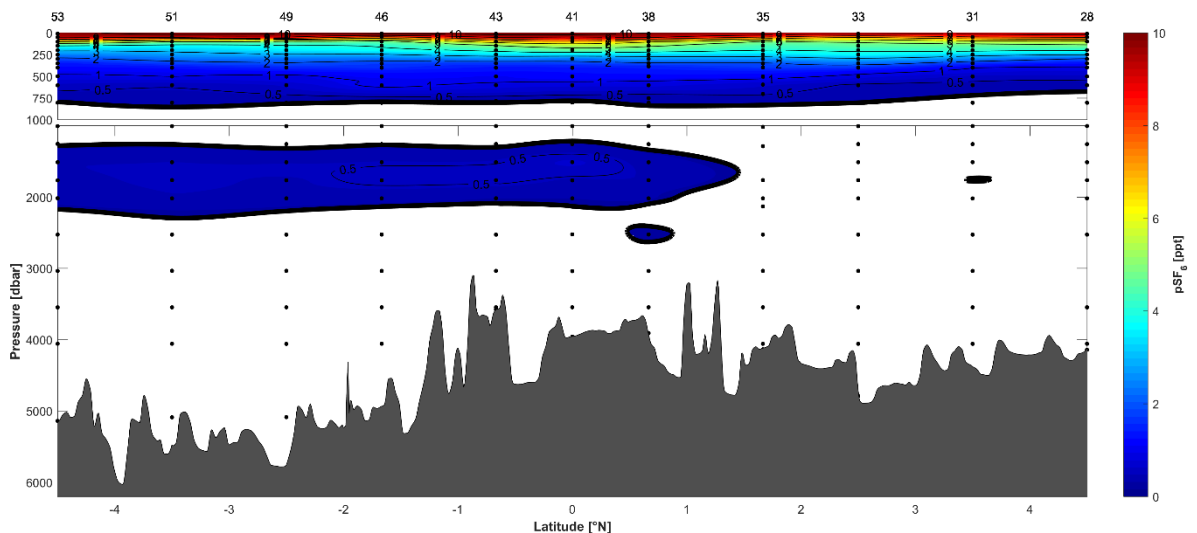


Abb. 1: Verteilung des Partialdrucks von SF₆ entlang von 23°W (Abb.: TS).

Die Zeitinformationen der Spurengase ermöglichen die Berechnung weiterer interessanter Parameter, wie zum Beispiel den Eintrag von anthropogenem Kohlenstoff in den Ozean und die Sauerstoffzehrungsrate. Letztere ist für uns von besonderem Interesse, da dies ein entscheidender Parameter für die zukünftige Entwicklung von Sauerstoffminimumzonen ist, der bisher noch sehr ungenau

bestimmt ist. Unsere Messungen entlang von 23°W tragen auch zu den umfassenden Datensätzen der Spurengasmessungen im Atlantik bei. Basierend auf diesen Datensammlungen ist es möglich, die zugehörigen Wassermassen ausgehend von den Bildungsgebieten entlang ihrer Dichtefläche bis in die Sauerstoffminimumzone zu verfolgen, was wiederum weitere Informationen über das Sauerstoffbudget sowie die entsprechenden Sauerstoffzehrungsraten liefert.

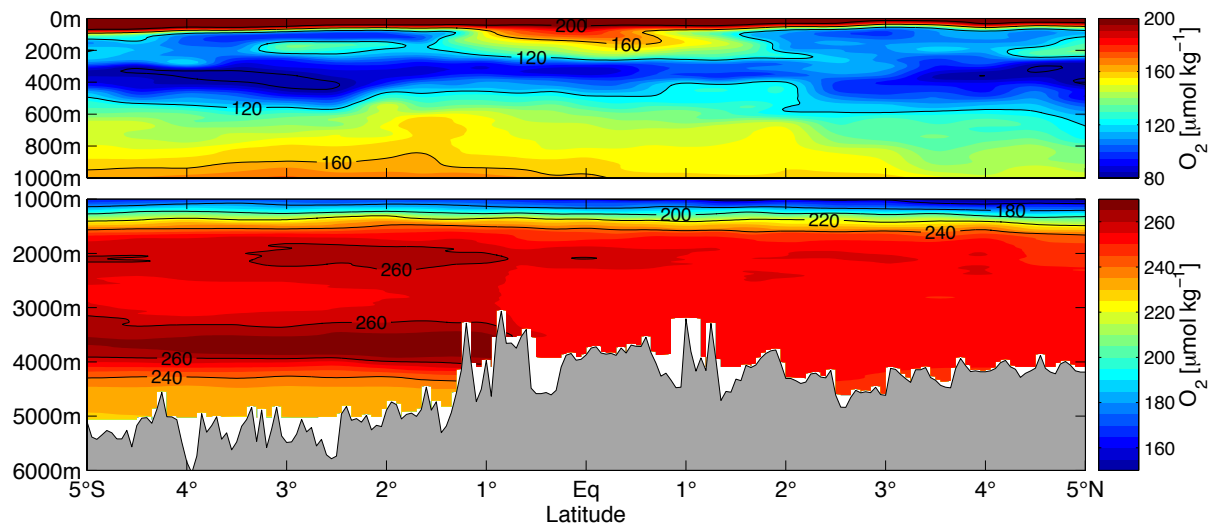


Abb. 3: Sauerstoffverteilung entlang von 23°W (Abb. JH).

Nach etwas mehr als zwei Tagen Transit von 23°W, 6°S bis 32°W, 11,5° S, konnten wir mit unseren CTD-Messungen vor Brasilien beginnen. Am Sonntagmorgen konnten wir dann auch erfolgreich die erste Verankerung unseres Randstromarrays bergen. Weitere Verankerungsbewegungen folgten am Nachmittag und werden uns in den nächsten Tagen beschäftigen.

Der Transit erfolgte pünktlich zur Mitte der Reise, und wir konnten unser obligatorisches "Bergfest" begehen. An Deck wurde unter anderem frischer Fisch aus dem tropischen Atlantik gegrillt, der vom Schiffskoch hervorragend zubereitet wurde. Bei gutem Essen und Trinken und einem wunderschönen Sonnenuntergang hatten wir so eine gute Zeit zwischen unseren Hauptarbeitsgebieten entlang von 23°W und vor der brasilianischen Küste.

Viele Grüße aus den Tropen,

Rebecca Hummels und Peter Brandt und die Fahrtteilnehmer der Reise M145

4. Wochenbericht M145, Mindelo-Recife

05.03.-11.03.2018

Die vierte Woche der METEOR-Reise M145 von Mindelo nach Recife stand ganz im Zeichen der Vermessung der Randstromzirkulation vor Brasilien. Hier am westlichen Rand des Atlantiks ist der Transport von warmem Wasser von Süden nach Norden und der darunter stattfindende Transport von kaltem Tiefenwasser in die entgegengesetzte Richtung sehr fokussiert. Diese Transporte sind Teil der atlantikweiten Umwälzzirkulation, die auch den Golfstrom im Nordatlantik mit einbezieht. Die Vermessung der Strömungsvariabilität, die hier mit Verankerungen und Schiffsmessungen durchgeführt wird, ist ein Kernthema des BMBF Verbundprojekts RACE II. Unsere Messungen, die 2013 wieder aufgenommen wurden, bauen dabei auf früheren Messungen (von 2000 bis 2004) auf. Mittlerweile steht damit ein fast 20-jähriger Datensatz zur Zirkulationsvariabilität vor Brasilien zur Verfügung. Eine Abnahme der Stärke der Umwälzzirkulation, die für ein zukünftig wärmeres Klima vorhergesagt wird und auch eine Abschwächung des Golfstroms bedeuten würde, konnte bisher vor Brasilien nicht nachgewiesen werden. Wassermasseneigenschaften, wie Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoff haben sich dagegen sehr wohl während der letzten Dekaden geändert, was hauptsächlich auf einen verstärkten Einstrom von Wasser aus dem Indischem Ozean in den Atlantik südlich von Afrika zurückzuführen ist.

Die Verankerungsaufnahme vor Brasilien verlief sehr erfolgreich: wir konnten sämtliche Verankerungen einschließlich der separaten Instrumente zur Bodendruckvermessung bergen; alle Geräte haben wie geplant gearbeitet. Die Wiederauslegung des Verankerungsarrays verlief ebenfalls problemlos und wir hoffen dann im Herbst 2019 wieder auf eine erfolgreiche Aufnahme und wichtige Aussagen zum Einfluss von natürlichen und anthropogenen Klimaschwankungen auf die Zirkulation im atlantischen Ozean.

Unsere Messungen vor Brasilien werden in enger Kooperation mit der Föderalen Universität von Pernambuco in Recife durchgeführt. So haben wir auch dieses Mal wieder zwei Mitfahrer aus Recife mit an Bord, die uns tatkräftig bei unseren Arbeiten unterstützten. Neu ist, dass während einer brasilianischen Forschungsfahrt im Dezember 2017 zum Service der PIRATA Bojen im westlichen tropischen Atlantik erstmals auch Schiffsschnitte entlang unserer Route gewonnen wurden. Diese Daten konnten wir im Vergleich zu unseren eigenen Daten hier an Bord analysieren (Abb. 1). Zusammen liefern sie wichtige Informationen, über die Variabilität der Struktur des westlichen Randstroms.

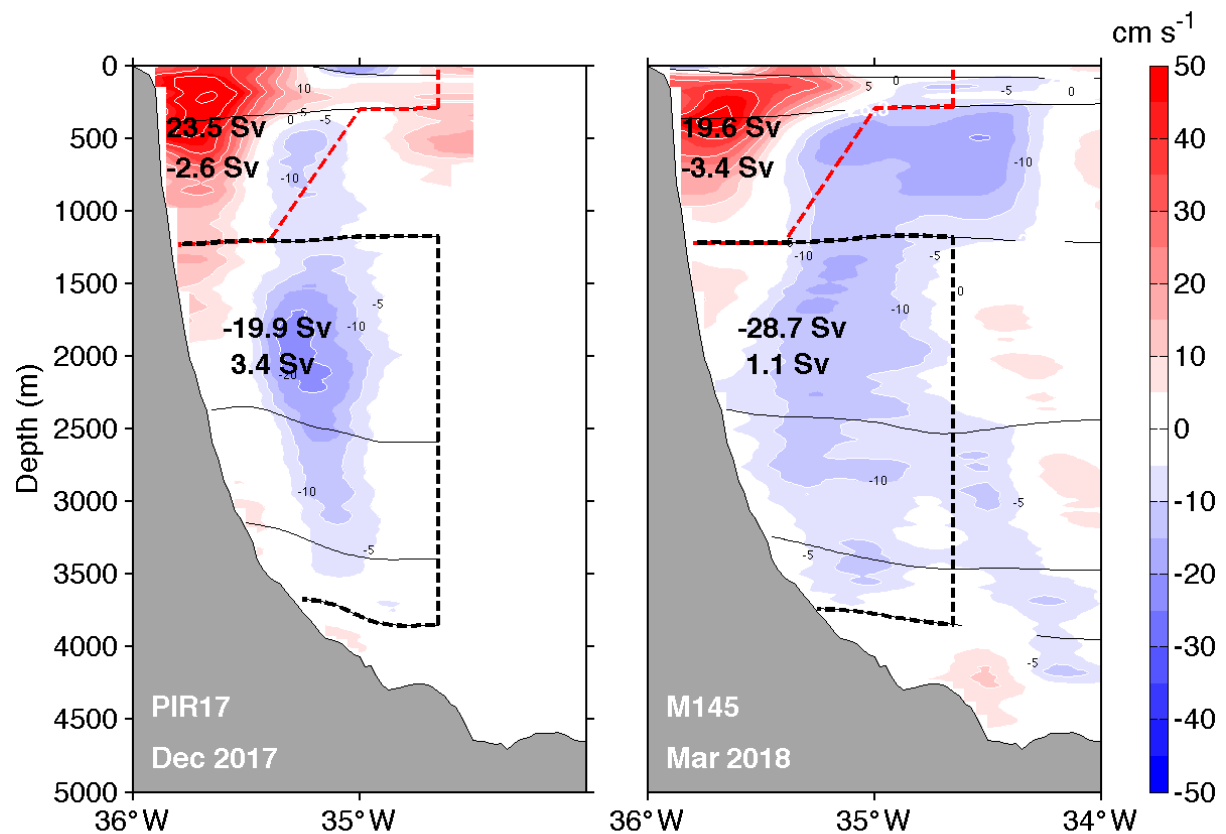


Abb. 1: Das während M145 vermessene Strömungsfeld bei 11°S am westlichen Rand zeigt eine starke positive (nordwärtige) Strömung des Nordbrasilstroms sowie die südwärtige Strömung von nordatlantischem Tiefenwasser darunter. Im Vergleich dazu sind analoge Randstrommessungen dargestellt, die während einer brasilianischen PIRATA Reise im Dezember 2017 gewonnen wurden. Die Zahlen geben Volumentransporte für die markierten Bereiche in Sv ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) an; positive Zahlen bedeuten nordwärtigen Transport, negative Zahlen südwärtigen Transport (Abb.: RH and LB).

Die Forschungsfahrt M145 neigt sich jetzt dem Ende entgegen. Am Montag stehen noch letzte CTD Messungen bei 5°S in Richtung Osten bis etwa 29°W auf dem Programm bevor wir den letzten Transit zum Hafen von Recife antreten. Meteor wird dann am Mittwochmorgen in Recife einlaufen. Für einige von uns geht es anschließend noch zu einem wissenschaftlichen Seminar an die Föderale Universität von Pernambuco, bei dem wir zusammen mit unseren brasilianischen Kollegen aus Recife neueste Forschungsergebnisse vorstellen und diskutieren werden. Dieses Seminar ist bereits das sechste in einer Serie von Seminaren zur bilateralen Kooperation, die 2002 mit dem ersten Seminar im Anschluss an die METEOR-Reise M53/2 initiiert wurde.



Abb. 2: Gruppenbild der wissenschaftlichen Fahrtteilnehmer von M145 (Photo: HD).

Damit endet eine sehr arbeitsintensive Forschungsfahrt, bei der wir eine große Menge von spannenden Daten zum physikalischen, chemischen und biologischen Zustand des tropischen Ozeans sammeln konnten, die sicher ihren Weg in künftige Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten sowie in wissenschaftliche Veröffentlichungen finden werden. An dieser Stelle noch einmal ein ganz besonderes Dankeschön an Mannschaft und Schiffsführung für die großartige Unterstützung in allen Bereichen und ihren wichtigen Beitrag zum Erfolg der Reise, der aber nicht zuletzt auch dem großen Engagement der Wissenschaftler und Techniker zu verdanken ist. Von uns auch ein spezielles Dankeschön an alle Fahrtteilnehmer für die tolle Zeit hier an Bord, die wir alle zusammen verbringen konnten.

Viele Grüße aus den Tropen,
Rebecca Hummels und Peter Brandt und die Fahrtteilnehmer der Reise M145