

# 1. Wochenbericht M98, Fortaleza-Walvis Bay

1.7.-28.7.2013

Am 1. Juli 2013 begann die METEOR-Reise M98 in Fortaleza, Brasilien. Diese Forschungsfahrt ist Teil der BMBF Verbundprojekte RACE „Regionale Atlantikzirkulation im Globalen Wandel“ und SACUS „Küstenauftrieb vor Südwestafrika und Benguela Niños“. Kern der Untersuchungen im Rahmen von RACE ist die Variabilität der westlichen Randstromzirkulation vor Brasilien. Mit Hilfe von schiffsgestützten Messungen und mit einem langfristigen Verankerungsprogramm sollen die Stärke und die Wassermasseneigenschaften des Nordbrasilstroms in den oberen 1000 m der Wassersäule sowie des tiefen westlichen Randstroms zwischen etwa 1000 und 3500 m Wassertiefe bestimmt werden. Diese Ströme sind ein wichtiger Indikator für Veränderungen der atlantikweiten Zirkulation aufgrund von natürlichen und anthropogenen Klimaschwankungen. Im Rahmen von SACUS soll dann im zweiten Teil der Reise die östliche Randstromzirkulation vor Angola untersucht werden. Schwankungen im südwärts gerichteten Angolastrom können einen starken Einfluss auf die Produktivität im Küstenauftrieb vor Namibia haben. Bei Extremereignissen, den sogenannten Benguela Niños, breitet sich warmes äquatoriales Wasser weit nach Süden aus und unterdrückt den Auftrieb von kaltem nährstoffreichen Wasser mit drastischen Konsequenzen für Fischerei und Ökonomie der Küstenstaaten. Das Forschungsprogramm von M98 wird vervollständigt durch kontinuierliche Messungen von oberflächennahen Konzentrationen von CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, und O<sub>2</sub>, von turbulenten Gasflüssen in der Atmosphäre, sowie von Temperatur und Salzgehalt. Die Messungen zum Gasaustausch sind Teil der Junior Research Group von Christa Marandino.

## *Deutsch-Brasilianische Zusammenarbeit*

Anlässlich des Hafenaufenthalts von METEOR in Fortaleza vor M98 waren mehrere Veranstaltungen zur wissenschaftlichen Zusammenarbeit von verschiedenen Arbeitsgruppen in Brasilien und Deutschland geplant. Bereits am 28. Juni fand am Labomar, dem Meeresforschungsinstitut der Bundesuniversität Ceará in Fortaleza (UFC), ein gemeinsames Treffen zur weiteren Entwicklung der Zusammenarbeit statt. Dabei wurde ein wissenschaftliches Symposium für Mai 2014 zum Thema „Ozeanforschung zu biochemisch-physikalischen Wechselwirkungen im tropischen Atlantik“ vereinbart, das ein Höhepunkt des dann zu Ende gehenden Deutsch-Brasilianische Jahres (2013/2014) sein könnte. Zum Empfang auf METEOR am Abend des 29. Juni kamen etwa 50 geladene Gäste aus Wissenschaft, Politik und Behörden und es gab viele anregende Diskussionen zur Rolle der Wissenschaft in der Gesellschaft, aber auch zu konkreten Forschungsvorhaben mit unseren

verschiedenen brasilianischen Partnern. Zuvor am Nachmittag stand Meteor auch wieder offen für Besuche von Schülern und Studenten und wir konnten von allen Seiten Bewunderung über die großen Möglichkeiten hören, die Meteor den verschiedensten Forschergruppen an Bord zu bieten hat.

### *International Kooperation und Capacity Building*

Die Arbeitsgruppe an Bord spiegelt die starke internationale Ausrichtung der Forschungsprogramme wieder. Neben unseren Kollegen von den brasilianischen Universitäten in Natal und Recife, konnten wir auch 3 Wissenschaftler aus Angola an Bord begrüßen. Sie kommen vom Fischereiinstitut INIP von Angola und sind Partner in SACUS. Diese Zusammenarbeit wird weiter gestärkt durch das EU FP7 Projekt PREFACE „Enhancing PRediction of Tropical Atlantic ClimatE and its impacts“, das im November 2013 offiziell beginnen wird. Dieses Projekt führt Wissenschaftler aus 17 europäischen und 10 afrikanischen Instituten zusammen. Insgesamt waren wir sehr froh, dass nach vielen Problemen bei der Anreise, mit Generalstreik in Portugal, verspäteten Flügen und nicht mittransportiertem Gepäck, aber auch durch das verspätete Einlaufen nach pünktlicher Ankunft von Meteor in Fortaleza, alle rechtzeitig an Bord kamen, Meteor mit unserer wissenschaftlichen Ausrüstung beladen werden und dann doch pünktlich in See stechen konnte.



**Abb. 1:** Teilnehmer aus 8 Ländern vervollständigen das wissenschaftliche Team von M98 (Fotos und Zusammenstellung: Bendix Vogel).



**Abb. 2:** Mit (fast) vollständiger Ausrüstung an Bord verlässt METEOR den Hafen von Fortaleza. Die Ersatzteile für die Unterwegs-CTD konnten einige Tage später bei einem kurzem Zwischenstopp in Recife an Bord genommen werden (Foto: Gerd Krahnmann).

### *Vermessung des westlichen Randstroms bei 5°S*

Einen Tag nach dem Auslaufen in Fortaleza begann das wissenschaftliche Programm mit CTD (conductivity, temperature, depth) und LADCP (lowered acoustic Doppler current profiler) Messungen entlang von 5°S. Solche Messungen wurden im Zeitraum von 1990 bis 2004 mehrfach durchgeführt. Mit den neuen Messungen wollen wir mögliche Veränderungen im Salzgehalt des Nordbrasilstroms aufgrund eines verstärkten Einstroms aus dem Indischen Ozean nachweisen. Alle Messungen liefen bisher hervorragend, kleine technische Komplikationen konnten schnell behoben werden. Nach Beendigung der Messungen bei 5°S und dem Transfer zum nächsten Arbeitsgebiet, haben jetzt bereits die Verankerungsarbeiten bei 11°S begonnen.

Die Stimmung an Bord ist ausgezeichnet – sicherlich auch wegen des mittlerweile sehr guten Wetters nach anfänglich durchgehenden Starkregenfällen - und auch die Zusammenarbeit mit Kapitän Michael Schneider und der Besatzung der METEOR klappt hervorragend.

Viele Grüße aus den Tropen,  
Peter Brandt und die Fahrtteilnehmer der Reise M98

## 2. Wochenbericht M98, Fortaleza-Walvis Bay

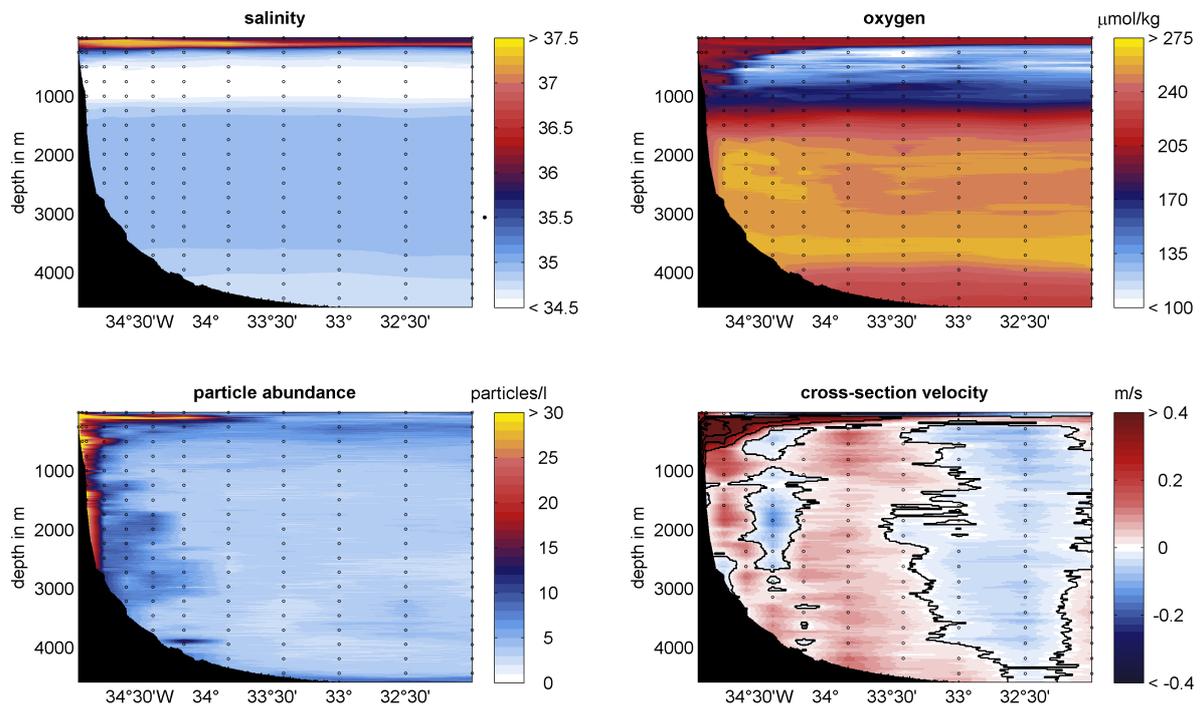
1.7.-28.7.2013

Die zweite Woche der METEOR-Reise M98 stand ganz im Zeichen der Vermessung des westlichen Randstroms vor Brasilien. Der westliche Randstrom ist die Hauptroute für den Austausch von Wassermassen zwischen der Nord- und der Südhemisphäre. Warmes Wasser wird im Randstrom nach Norden transportiert und versorgt entlang unterschiedlicher Routen letztendlich den Floridaströmung und den Nordatlantischen Strom; kaltes Wasser aus dem subpolaren Nordatlantik wird darunter nach Süden transportiert. Die ersten Daten vom CTD/O<sub>2</sub> – System (zur Bestimmung von Wassermasseneigenschaften wie Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff, und Anzahl von Partikeln) und vom LADCP – System (akustische Strömungsmesser an der CTD Rosette) sind bereits vorläufig ausgewertet. Abb. 1 zeigt die gekürzte Abbildung aus einem kleinen Wettbewerb zwischen unseren Studenten an Bord zur Darstellung der Beobachtungsergebnisse entlang von 5°S. Bemerkenswert in den vorläufigen Daten ist der schwache tiefe westliche Randstrom: im Gegensatz zu den meisten vorangegangenen Reisen konnte bei nur einem tiefen Strömungsprofil im Bereich des Randstroms tatsächlich südwardige Strömungen vermessen werden. Salzgehalt- und Sauerstoffverteilung zeigen dagegen die typische Verteilung der Wassermassen. Interessant ist auch die Verteilung der Teilchenanzahl im Wasser. Starke Maxima wurden nur in Oberflächennähe und direkt in Bodennähe am Schelf gefunden. Die Maxima im Nordbrasilstrom könnten eine Erklärung für ähnliche Maxima im Ozeaninneren sein, die während unserer letzten Forschungsfahrt mit RV Maria S. Merian entlang von 23°W gefunden wurden. Der Nordbrasilstrom löst sich nördlich des Äquators vom Schelf und speist von dort verschiedene ostwardige Strömungen, die diese Teilchen mit nach Osten transportieren könnten.

### *Verankerungsarbeiten entlang von 11°S*

Entlang von 11°S wurden 4 Verankerungen, ein PIES (akustischer Wasserstandsmesser mit Drucksensor) und ein Bodendrucksensor ausgelegt. Die jetzt ausgelegten Verankerungen wiederholen Messungen aus den Jahren 2000 bis 2004 und sollen uns Auskunft geben über mögliche Schwankungen der westlichen Randstromzirkulation auf dekadischen Zeitskalen. Die Verankerungsarbeiten bei 11°S sind ohne jegliche Komplikationen verlaufen auch aufgrund von guter technischer Vorbereitung und professioneller Zusammenarbeit von Wissenschaft und Mannschaft. Die Messgeräte werden jetzt bis Mai 2014 ihre Daten aufzeichnen, die uns dann nach Aufnahme der Verankerungen auch darüber Auskunft geben werden, ob z.B. der extrem schwache tiefe westliche Randstrom nur ein kurzfristiges Ereignis zum

Zeitpunkt unserer LADCP Messungen war oder ob es tatsächlich Veränderung der Zirkulation im Vergleich zu den Messungen von 2000-2004 gibt.



**Abb. 1:** Salzgehalt (oben links), Sauerstoff (oben rechts), Teilchenzahl pro Liter (unten links) und küstenparallele Strömung (unten rechts, Kontourlinien alle 20 cm/s) von unseren CTD/LADCP Messungen. Gepunktete Linien geben die Positionen der CTD/LADCP Stationen an (Darstellung: Siren Rührs).

### *Unterwegsmessungen mit der Unterwegs-CTD*

Mittlerweile befinden wir uns auf dem Transit von Brasilien nach Angola. Diese lange Wegstrecke benutzen wir um verschiedene Unterwegsmessungen durchzuführen. Im nächsten Wochenbericht werden wir etwas genauer auf die Flussmessungen von verschiedenen Gasen und den Austausch der Gase zwischen Ozean und Atmosphäre eingehen. Hier ein paar Worte zur Unterwegs-CTD, die bei voller Fahrt an einer Leine ins Wasser geworfen wird, bis auf etwa 350m Wassertiefe fällt und dann an der Leine wieder eingeholt wird. Wir haben zwei Systeme an Bord. Beide Systeme wurden bereits auf den vorangegangenen Fahrten eingesetzt, sind dann aber wegen verschiedener Probleme ausgefallen. Aufgrund der uns vorliegenden Informationen konnten wir einige Ersatzteile mitbringen (eine verspätete Kiste mit Ersatzteilen konnte in Recife an Bord genommen werden) und tatsächlich beide Systeme wieder reparieren. Vielen Dank an dieser Stelle an alle und ganz besonders Mario Müller, die mitgeholfen haben, neue Kugellager einzusetzen, Korrosion an verschiedensten Stellen zu beseitigen oder Teile der Elektronik neu zu verlöten. Besonders beeindruckend sind auch die Möglichkeiten des Schiffes bei der Instandsetzung solcher Geräte - einen großen Dank hiermit auch an den leitenden Ingenieur Volker Hartig und sein Team aus der Maschine. Zurzeit laufen die Unterwegs-CTD Messungen mit stündlichen Profilen rund um die Uhr. Mit diesen Daten können wir

später Frischwasser- und Wärmeinhalte – wichtige Parameter für das tropische Klima – entlang der Fahrtroute bestimmen.

METEOR kämpft dabei gegen Wind, Seegang und Dünung und erreicht leider nur Geschwindigkeiten deutlich unter ihrem sonstigen Durchschnitt. Damit verlieren wir bei der langen Fahrtstrecke von Südamerika nach Afrika wichtige Zeit für das Beobachtungsprogramm vor Angola. Die Wettervorhersage verspricht leichte Besserung und somit sind wir guter Dinge, dass die geplanten Forschungsarbeiten erfolgreich abgeschlossen werden können. Unser Bergfest findet in jedem Fall statt - auch bei Wind und Regen - und Wissenschaft und Besatzung können auf eine gelungene erste Halbzeit von M98 zurückblicken.

Viele Grüße aus den Tropen,

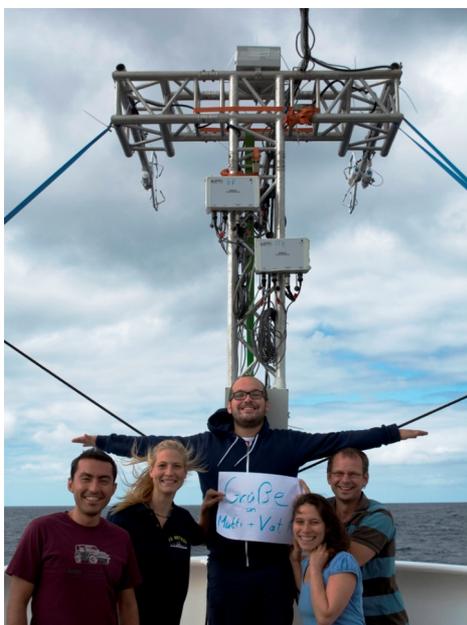
Peter Brandt und die Fahrtteilnehmer der Reise M98

### 3. Wochenbericht M98, Fortaleza-Walvis Bay

1.7.-28.7.2013

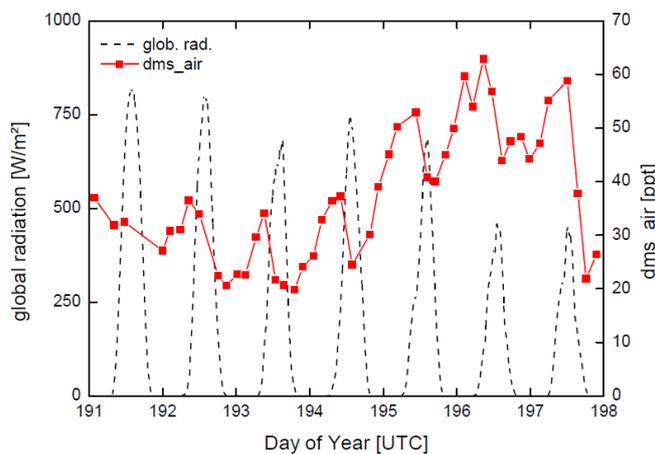
Auf dem Weg von Brasilien nach Angola konzentrierte sich die Arbeit auf Unterwegsmessungen von Strömungen, Oberflächentemperatur und –salzgehalt, Temperatur und Salzgehalt der oberen 350m und ganz besonders chemische Messungen in Ozean und Atmosphäre. In unserem 3. Wochenbericht wird deshalb das Chemie-Team, das sich mit seinen Messungen auf diesen Abschnitt der Reise konzentriert, seine Arbeit vorstellen:

Auf dem Transit der letzten Woche konnte das chemische Unterwegsmessprogramm der Chemischen Ozeanographie Abteilung des GEOMAR mit Tobias Steinhoff, Damian Arevalo-Martinez, Alex Zavarsky, Ellen Schweizer und Christa Marandino (Figure 1) ohne Unterbrechung durchgeführt werden. Die chemischen Messungen liefern Informationen über die Luft-Wasser-Konzentrationsunterschiede von verschiedenen klimarelevanten Gasen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , DMS (Dimethylsulfid) und Aceton). Zusätzlich arbeitete das TRASE EC Team während der ersten zwei Wochen rastlos, Tag und Nacht, daran, sein Messsystem für „Eddy Covariance“ (EC), DMS, Aceton und  $\text{CO}_2$  für den Transferabschnitt der Reise fertig zu bekommen. Ziel dieser Messungen ist die direkte und gleichzeitige Bestimmung des vertikalen Gastransports in der Atmosphäre sowie der Gaskonzentrationen in Atmosphäre und Ozean. Mit solchen Messungen ist es möglich, den Gastransferkoeffizienten zu bestimmen - eine wichtige Größe für den Gasaustausch, die ansonsten typischerweise als Funktion der Windgeschwindigkeit parametrisiert wird. Direkte Messungen des Gastransports helfen damit nicht nur biogeochemische Kreisläufe in Ozean und Atmosphäre besser zu verstehen, sondern sollen langfristig auch die Berechnung des Gasaustauschs aus Luft-Wasser-Konzentrationsunterschieden dieser Gase verbessern.



**Abb 1:** Das GEOMAR Team der Chemischen Ozeanographie am Bug der Meteor vor dem Mast mit dem Eddy Covariance System. Der Mast ist mit akustischen 3D-Windmessern, einem Bewegungssensor zur Korrektur der Windmessungen aufgrund von Schiffsbewegungen und zwei Gasleitungen, die vom Mast zu den DMS/Aceton und  $\text{CO}_2$  Sensoren im Container auf dem Vorschiff führen, ausgerüstet.

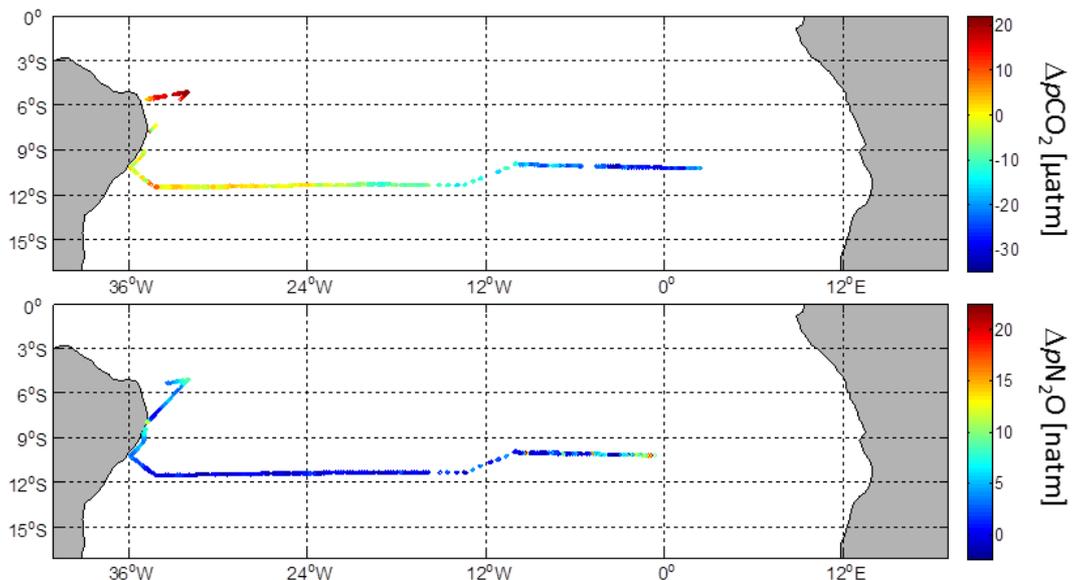
Der EC Gastransport wird aus der Kovarianz zwischen der Vertikalkomponente der turbulenten Luftbewegungen und den Konzentrationsschwankungen der verschiedenen Gase berechnet. Die Vertikalkomponente der Windgeschwindigkeit wird dabei mit einem „Campbell CSAT-3 sonic anemometer“ bestimmt. Die Konzentrationsmessungen von DMS und Aceton werden mit einem Massenspektrometer (atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometer) und von CO<sub>2</sub> mit einem Licor 7200 durchgeführt. Die typischen Messfrequenzen liegen bei den Gasmessungen zwischen 5 und 10 Hz und bei den Windmessungen zwischen 30 und 50 Hz. Die Datenströme der verschiedenen Geräte müssen für die Kovarianzberechnung zeitlich genau synchronisiert sein. Und um die Berechnungen des Gastransports nicht zu einfach werden zu lassen, muss berücksichtigt werden, dass die vertikale Windkomponente durch die Schiffsbewegungen, wie Rollen und Stampfen, beeinflusst ist. Zur Bestimmung der Schiffsbewegungen benutzen wir deshalb einen Bewegungssensor, der die 3D-Beschleunigung und die Drehungen des Schiffs erfasst.



**Abb. 2:** Atmosphärische DMS Messungen (rot). Der Tag des Jahres (DOY) 191 entspricht dem 11.07.2013. Der erwartete Tagesgang in der DMS-Konzentration wird deutlich, wenn wir ihn zusammen mit der Globalstrahlung aus den Schiffsmessungen (gestrichelte Linie) darstellen.

Die meiste Arbeit bei dieser Art von Messungen gibt es am Anfang bei der Inbetriebnahme des Systems und am Ende bei der Datenanalyse. Bei früheren Messungen hat sich gezeigt, dass möglichst kurze Gasleitungen von Vorteil sind und so sind die meisten Instrumente in einem Container auf dem Vorschiff in der Nähe des Mastes untergebracht. Um möglichst ungestörte Messungen zu bekommen (der Wind sollte immer von vorn kommen), sind alle Gaseinlässe und meteorologischen Instrumente auf dem Mast an vorderster Stelle in etwa 11 m über dem Meeresspiegel angeordnet. Gasleitungen und Kabel für analoge und digitale Signale und Daten mussten zwischen Mast und Container verlegt und fixiert werden. Diese Arbeiten einschließlich der zugehörigen Tests mussten möglichst vor dem Auslaufen des Schiffs abgeschlossen sein, da das Arbeiten am Mast auf See äußerst schwierig ist. Wenn das System dann misst, sind noch einige Bearbeitungsschritte und Korrekturen notwendig bis endlich der Gastransport in der Atmosphäre bestimmt werden kann. Dazu gehören die Berücksichtigung der Schiffsbewegungen genauso, wie Korrekturen für Fehler in der Datenübertragung oder von Störungen im Gasfluss

in den Gasleitungen. Das TRASE-EC Team hat den Schiffskonferenzraum als seine Zentrale umfunktioniert, um hier gemeinsam an der Erstellung von Programmen zur Datenanalyse zu arbeiten. Die Chancen, die Teammitglieder hier zu finden sind in der Regel sehr gut, außer nach 20 Uhr, wenn der Konferenzraum in etwas entspannterer Atmosphäre als Fernsehraum genutzt wird. Abbildungen 2 und 3 geben einen Eindruck von den chemischen Daten, die bisher gewonnen wurden.



**Abb. 3:** Unterwegsmessungen von Luft-Wasser-Konzentrationsunterschieden von  $CO_2$  und  $N_2O$ . Die ersten Messungen vor der Nordoststecke von Brasilien sind vom 2.7.2013 und die letzten Messungen vom 19.7.2013. Momentan erreichen wir ein Gebiet in dem die Konzentration von  $CO_2$  untersättigt und die von  $N_2O$  übersättigt wird. Diese Änderung im Gradienten zwischen Luft und Wasser bedeutet für die Messungen, dass wir jetzt mit stärkeren Signal rechnen können als zu Beginn der Reise.

Der Rest des Forschungsteams setzt seine Arbeiten mit der Unterwegs-CTD zur Bestimmung von Temperatur und Salzgehalt im oberen Ozean, der Datenanalyse von bereits gewonnenen Daten und der Vorbereitung auf die Messungen in angolanischen Gewässern fort. Die Messungen vor Angola werden am Sonntagabend mit einer ersten CTD-Station beginnen. Danach folgen Verankerungsarbeiten zur langfristigen Vermessung des Randstroms vor Angola, weitere CTD Messungen und Messungen mit Mikrostruktursonden vom Schiff und auf einem Gleiter.

In unserem täglichen Seminar werden von den Wissenschaftlern und Studenten an Bord die verschiedenen Themen ihrer Forschungsarbeiten vorgestellt und wir alle bekommen damit einen guten Überblick über die Vielfalt der Forschungsthemen, die während M98 bearbeitet werden.

Viele Grüße aus den Tropen,  
Peter Brandt und die Fahrtteilnehmer der Reise M98

## 4. Wochenbericht M98, Fortaleza-Walvis Bay

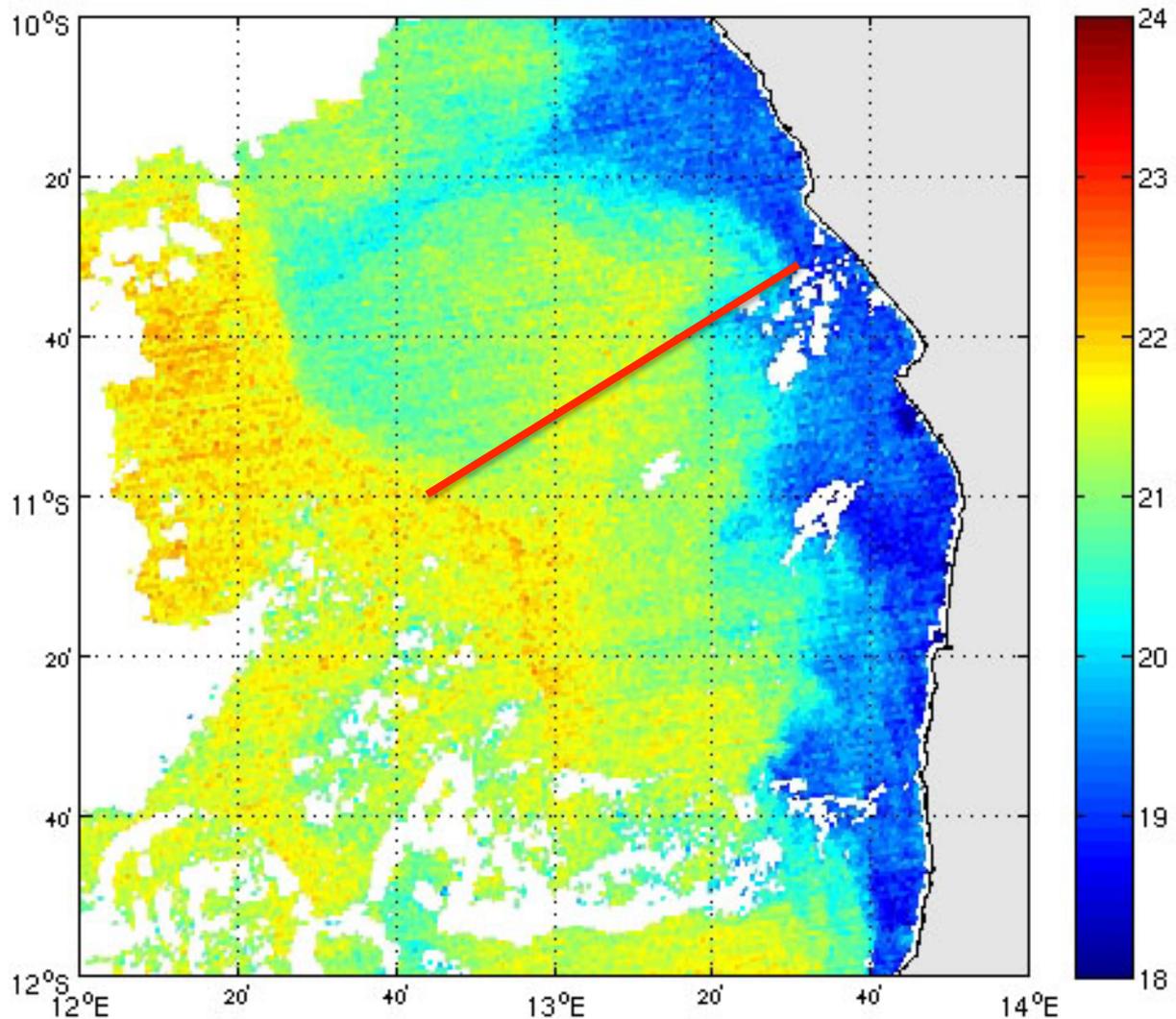
1.7.-28.7.2013

Die Arbeiten in der letzten Woche der Forschungsreise M98 konzentrierten sich auf das Schelfgebiet vor Angola. Im Rahmen des BMBF Projekts SACUS soll der Einfluss des äquatorialen Atlantiks auf Temperatur und Produktivität im Auftriebsgebiet vor der Küste Südwestafrikas untersucht werden. Ziel dieser Reise ist es die Fernwirkung aus der äquatorialen Region sowohl durch Wellenausbreitung entlang des Äquators und dann weiter nach Süden entlang der Küste als auch durch südwärtige Strömungen zu vermessen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Vermessung des Angolastroms bei etwa 11°S. Neben den Strömungsmessungen vom fahrenden Schiff, mit denen nur eine Momentaufnahme des Strömungssystems erfasst werden kann, kommen verschiedene Strömungsmesserverankerungen zum Einsatz. Aufgrund der hohen biologischen Produktivität in der Region und der damit verbundenen intensiven Fischerei, setzen wir sogenannte Bodenschilde ein (Abb. 1).



**Abb. 1:** Zwei Bodenschilde mit eingebauten akustischen Strömungsmessern an Deck der Meteor kurz vor der Auslegung am Schelf vor Angola. Die Instrumente wurden auf 200 m und 500 m Wassertiefe abgesetzt und werden dort für etwa 1.5 Jahre Strömungsdaten aufzeichnen.

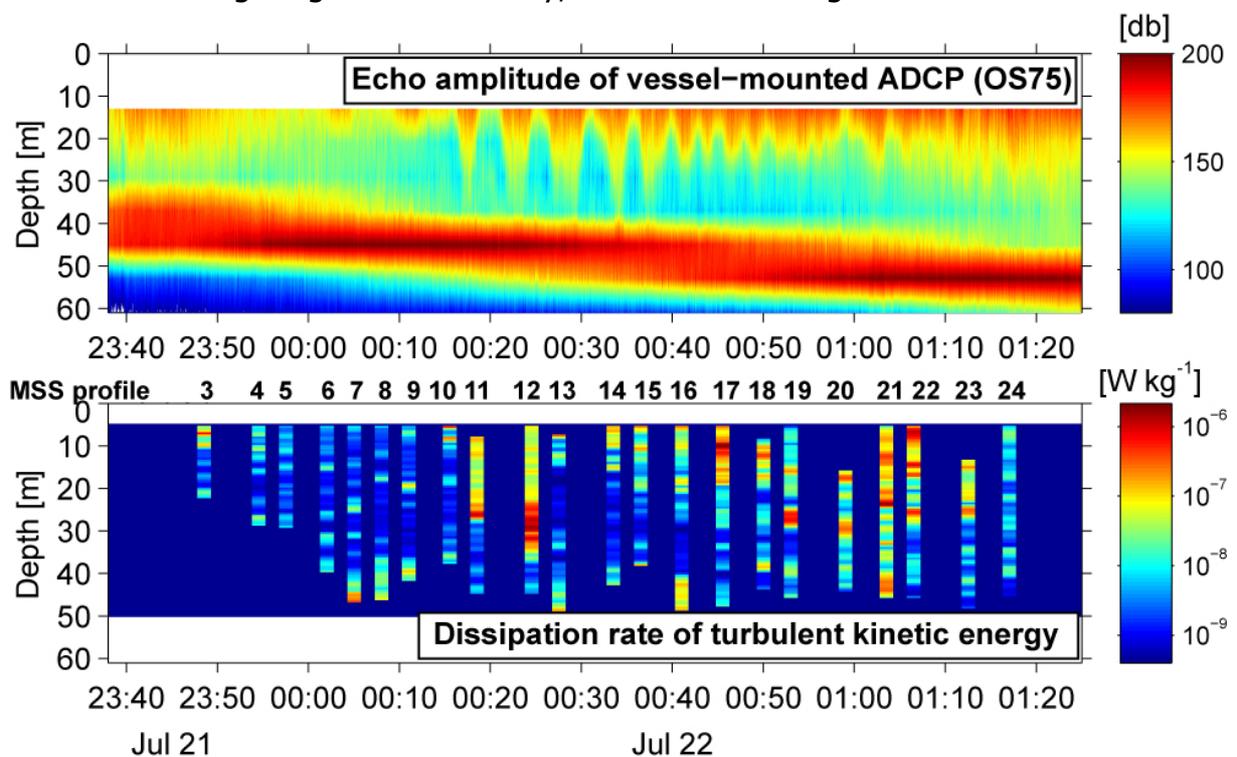
Solche Bodenschilde mit den eingebauten Instrumenten (in unserem Fall sind das ADCPs und Bodendrucksensoren) sitzen fest am Meeresboden - gut geschützt vor dem Vorort eingesetzten Fischfanggerät. Die verschiedenen verankerten Instrumente sollen dann im Herbst 2014 geborgen und wieder ausgelegt werden. Von den Daten erhoffen wir uns erste Messungen in diesem Gebiet von jahreszeitlichen und dann mit den folgenden Verankerungsperioden auch zwischenjährlichen Schwankungen der Stärke des Randstroms aber auch seiner Wassermasseneigenschaften, wie z.B. Salzgehalt und Sauerstoff.



**Abb. 2:** Die Oberflächentemperatur im Messgebiet vor Angola am 20.7.2013 zeigt die stark abgekühlte Meeresoberfläche in Küstennähe. Entlang der roten Linie wurden Verankerungen ausgelegt, CTD-, Gleiter- und Mikrostrukturstationen sowie kontinuierliche Schiffsmessungen durchgeführt (MODIS SST Daten von Dominique Dagorne, IRD, Projektpartner in PREFACE).

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Forschungsarbeiten vor Angola ist die Wärme- und Frischwasserbilanz des oberflächennahen Ozeans vor Südwestafrika. Diese Untersuchungen sind bereits Vorarbeiten zu einem im November 2013 beginnenden EU FP7 Projekt PREFACE „Enhancing PREDiction of Tropical Atlantic ClimatE and its impacts“. Insbesondere versuchen wir hier die starke Abkühlung des

oberflächennahen Wassers direkt an der Küste (Abb. 2) zu verstehen, die hier sehr untypisch bei eher schwachen Winden auftritt. Eine mögliche Erklärung scheinen starke gezeitenerzeugte interne Wellen zu sein, die zu entsprechend intensiver Vermischung auf dem Schelf führen und damit einen wesentlichen Beitrag zur Abkühlung leisten könnten (Abb. 3). Für die meisten von uns, die zum ersten Mal in dieser relativ unerforschten Region des tropischen Südatlantiks waren, gab es viel Neues zu lernen, insbesondere auch von unseren Mitfahrern aus Angola, die viele dieser Phänomene mit ihren zum Teil großen Einfluss auf Produktivität und Fischerei tagtäglich zu spüren bekommen. Am Nachmittag vor dem Einlaufen haben wir noch einen Gleiter auslegen, der dann die Messungen während der nächsten Forschungsfahrt unter Leitung von Detlef Quadfasel unterstützen wird. Unsere Reise wird am Sonntagmorgen in Walvis Bay, Namibia zu Ende gehen.



**Abb. 3:** Echo Amplitude des 75 kHz Schiffs-ADCPs zeigt Signaturen von internen Wellen, die in Richtung der Küste propagieren (obere Abbildung). Die Wassertiefe ist zwischen 40 und 50 m. Die gleichzeitig gemessene Dissipationsrate der turbulenten kinetischen Energie (Stärke der Vermischung) zeigt insbesondere in den Wellentälern starke Vermischungsereignisse (untere Abbildung).

Zum Schluss möchten wir uns ganz herzlich bei der Mannschaft und Schiffsführung für die sehr gute Arbeitsatmosphäre, das freundliche Miteinander und die erstklassige Versorgung bedanken. Wir freuen uns schon auf die nächste Reise mit der Meteor.

Viele Grüße aus den Tropen,

Peter Brandt und die Fahrtteilnehmer der Reise M98