

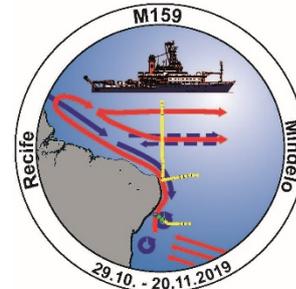


Forschungsschiff

METEOR

Reisen Nr. M156 – M159

03. 07. 2019 – 20. 11. 2019



Rolle von Wirbeln für die Kohlenstoffpumpe in Küstenauftriebsgebieten, REEBUS

Das Benguela Auftriebssystem im Klimawandel – Effekte von Variabilität im physikalischen Antrieb auf das Budget von Kohlenstoff und Sauerstoff, EVAR

**TRATLEQ I
Transatlantische Äquatoriale Forschungsfahrt I**

Zirkulation und AMOC vor Brasilien

Herausgeber / *Editor*:
Institut Geologie
Universität Hamburg
Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Gefördert durch / *Sponsored by*:

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

ISSN 0935-9974



Forschungsschiff / *Research Vessel*

METEOR

Reisen Nr. M156 – M159 / *Cruises No. M156 – M159*

03. 07. 2019 – 20. 11. 2019



Rolle von Wirbeln für die Kohlenstoffpumpe in Küstenauftriebsgebieten, REEBUS
Role of Eddies in the Carbon Pump of Eastern Boundary Upwelling Systems, REEBUS

Das Benguela Auftriebssystem im Klimawandel – Effekte von Variabilität im physikalischen Antrieb auf das Budget von Kohlenstoff und Sauerstoff, EVAR
The Benguela Upwelling System under climate change – Effects of variability in physical forcing on carbon and oxygen budgets, EVAR

TRATLEQ I
Transatlantische Äquatoriale Forschungsfahrt I
Trans-Atlantic Equatorial cruise I

Zirkulation und AMOC vor Brasilien
Brazil Circulation and AMOC

Herausgeber / *Editor:*
Institut für Geologie, Universität Hamburg
Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Gefördert durch / *Sponsored by:*
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
ISSN 0935-9974

Anschriften / *Addresses*

Dr. Stefan Sommer

GEOMAR
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Wischhofstr. 1-3
24148 Kiel, Germany

Telefon: +49-431-600-2119
Telefax: +49-431-600-4102
e-mail: ssommer@geomar.de

Dr. Matthias Zabel

Universität Bremen - MARUM
Leobener Str. 8
28359 Bremen, Germany

Telefon: +49 (0)421 21865103
Telefax: +49 (0)421 2189865103
e-mail: mzabel@uni-bremen.de

Prof. Dr. Peter Brandt

GEOMAR
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Düsternbrooker Weg 20
24105 Kiel, Germany

Telefon: +49-431-600-4105
Telefax: +49-431-600-4102
e-mail: pbrandt@geomar.de

Prof. Dr. Martin Visbeck

GEOMAR
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Standort Westufer
Düsternbrooker Weg 20
24105 Kiel, Germany

Telefon: +49-431-600-4100
Telefax: +49-431-600-4102
e-mail: mvisbeck@geomar.de

Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe

Institut für Geologie
Universität Hamburg
Bundesstraße 55
D-20146 Hamburg, Germany

Telefon: +49-40-428-38-3640
Telefax: +49-40-428-38-4644
e-mail: leitstelle.ldf@uni-hamburg.de
http: www.ldf.uni-hamburg.de

Reederei

Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG
Abt. Forschungsschiffahrt
Hafenstrasse 6d (Haus Singapore)
26789 Leer, Germany

Telefon: +49 491 92520 160
Telefax: +49 491 92520 169
e-mail: research@briese.de
http: www.briese.de

Geschäftsstelle

des Gutachterpanels Forschungsschiffe (GPF)
c/o Deutsche Forschungsgemeinschaft
Kennedyallee 40
53175 Bonn, Germany

email: gpf@dfg.de

Forschungsschiff / *Research Vessel* METEOR

Vessel's general email address meteor@meteor.briese-research.de

Crew's direct email address n.name@meteor.briese-research.de

Scientific general email address chiefscientist@meteor.briese-research.de

Scientific direct email address n.name@meteor.briese-research.de

Each cruise participant will receive an e-mail address composed of the first letter of his first name and the full last name.

Günther Tietjen, for example, will receive the address:

g.tietjen@meteor.briese-research.de

Notation on VSAT service availability will be done by ship's management team / system operator.

- Data exchange ship/shore : on VSAT continuously / none VSAT every 15 minutes
- Maximum attachment size: on VSAT no limits / none VSAT 50 kB, extendable on request
- The system operator on board is responsible for the administration of all email addresses

Phone Bridge	(Iridium Open Port)	+881 677 701 858
	(VSAT)	+49 421 98504370

Phone Chief Scientist	(Iridium Open Port)	+881 677 701 859
	(VSAT)	+49 421 985 04372

METEOR Reisen / METEOR Cruises M156 – M159

03. 07. 2019 – 20. 11. 2019

M156

Rolle von Wirbeln für die Kohlenstoffpumpe in Küstenauftriebsgebieten, REEBUS
Role of Eddies in the Carbon Pump of Eastern Boundary Upwelling Systems, REEBUS

M157

Das Benguela Auftriebssystem im Klimawandel – Effekte von Variabilität im physikalischen Antrieb auf das Budget von Kohlenstoff und Sauerstoff, EVAR
The Benguela Upwelling System under climate change – Effects of variability in physical forcing on carbon and oxygen budgets, EVAR

M158

TRATLEQ I
Transatlantische Äquatoriale Forschungsfahrt I
Trans-Atlantic Equatorial cruise I

M159

Zirkulation und AMOC vor Brasilien
Brazil Circulation and AMOC

Fahrt / Cruise M156	03.07.2019 – 01.08.2019 Mindelo (Kap Verde) – Mindelo (Kap Verde) Fahrtleitung / <i>Chief Scientist</i> : Dr. Stefan Sommer
Fahrt / Cruise M157	04.08.2019 – 16.09.2019 Mindelo (Kap Verde) – Walvis Bay (Namibia) Fahrtleitung / <i>Chief Scientist</i> : Dr. Matthias Zabel
Fahrt / Cruise M158	19.09.2019 – 26.10.2019 Von Walvis Bay (Namibia) – nach Recife (Brazil) Fahrtleiter / <i>Chief Scientist</i> : Prof. Dr. Peter Brandt
Fahrt / Cruise M159	29.10.2019 – 20.11.2019 Von Recife (Brasilien) – nach Mindelo (KapVerden) Fahrtleitung / <i>Chief Scientist</i> : Prof. Dr. M. Visbeck
Koordination / Coordination	Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
Kapitän / Master METEOR	M156 Rainer Hammacher M157, M158 Detlef Korte M159 Rainer Hammacher

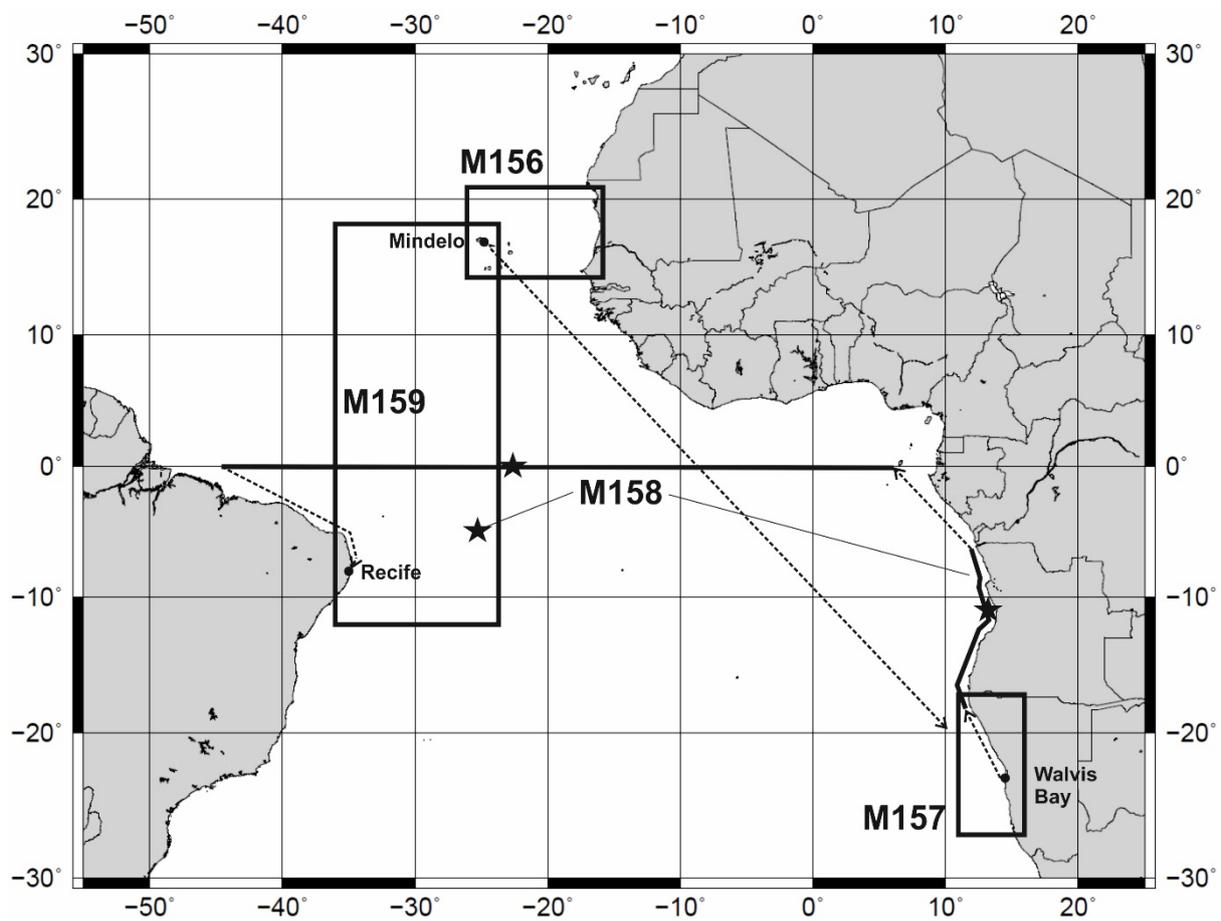


Abb. 1 Geplante Fahrtrouten und Arbeitsgebiete der METEOR Expeditionen M156 – 159.
 Fig. 1 Planned cruise tracks and working areas of METEOR cruises M156 – M159.

Übersicht

Die Reisen M156 und M157 in den tropischen Atlantik sind ein Beitrag zu den Verbundvorhaben REEBUS und EVAR innerhalb des Forschungsprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) MARE:N, Förderschwerpunkt „Bedeutung von Klimaänderungen in küstennahen Auftriebsgebieten“.

Übergeordneter Zweck dieses Förderschwerpunkts ist die Erlangung eines tieferen Verständnisses der klimarelevanten Prozesse und deren Variabilität in den küstennahen Auftriebsgebieten sowie deren Auswirkungen auf die marine Umwelt. Mit dem erweiterten Wissen über Zusammenhänge zwischen Klimawandel, Biodiversität und der verstärkten Nutzung der Meere durch den Menschen sollen globale Herausforderungen wie Überfischung oder Verschmutzung der Weltmeere besser bewältigt werden.

Fahrt M156

Zielsetzung der Expedition zum mauretischen Auftriebsgebiet vor West-Afrika, die im Rahmen der BMBF-Projekte REEBUS und MOSES durchgeführt wird, ist es ein besseres Verständnis der Dynamik von mesoskaligen Wirbeln (Durchmesser ca. 100 km) im Hinblick auf Quellen/ Senken Mechanismen von Kohlendioxid (CO₂) und der biologischen Kohlenstoffpumpe in küstennahen Auftriebsgebieten zu bekommen. Ferner soll die Auswirkung der Wirbel auf deren nährstoffarme Umgebung und den Tiefseeboden untersucht werden. Durch den Abtransport von küstennahem Auftriebswasser in den offenen Ozean nehmen Wirbel eine wichtige Rolle für die laterale Vermischung und Transport von physikalisch-biogeochemischen Signaturen ein, wobei sie die biologische Produktivität als auch den Stofftransport zum Meeresboden stark überprägen. Spezifische Ziele sind die Erfassung, i. der Flüsse von gelösten und partikulären Stoffen inner-

Synopsis

The cruises M156 and M157 in the tropical Atlantic represent a contribution of the projects REEBUS and EVAR within the research programme of the Federal Ministry for Education and Research (BMBF) MARE:N, research initiative “Role of climate change in coastal upwelling regions”.

Overarching aim of this research initiative is to obtain a better understanding of climate relevant processes and their variability in coastal upwelling regions and their effect on the marine environment. An expanded knowledge about the relationship between climate change, biodiversity and increasing exploitation of the seas shall contribute to better cope with the global challenges of over-fishing and pollution of the ocean.

Cruise M156

A major goal of the proposed cruise to the Mauritanian upwelling area off West Africa, which takes place within the BMBF research project REEBUS and MOSES is to obtain a better quantitative understanding of the dynamics of mesoscale eddies (diameter ca. 100 km) with particular focus to carbon dioxide (CO₂) source/sink mechanisms and the biological carbon pump in eastern boundary upwelling areas. Furthermore their effects on the oligotrophic periphery including the deep-sea floor will be investigated. By trapping coastal waters of upwelling origin and transporting them offshore, eddies play an important role in the lateral mixing and transport of physical-biogeochemical properties and thereby modulate biological productivity and material fluxes to the seabed. Specific aims are i. The quantification of solute and particle fluxes within and at the periphery of eddies; ii. To determine the turnover of carbon species, air-sea gas exchange of CO₂

halb und außerhalb der Wirbel, ii. des Umsatzes von Kohlenstoff, des CO₂-Austausches entlang der Meeresoberfläche, sowie die Erfassung der mikrobiellen und einzelligen Plankton-Gemeinschaften in unterschiedlichen Wirbeln, und iii. der Stärke und Variabilität des Materialtransports zum Meeresboden und dessen mikrobiellen Umsatz in Sedimenten unterhalb der Wirbelpassage.

Fahrt M157

Die Ausfahrt ist in zwei Abschnitte unterteilt. Auf der ca. 13-tägigen Anfahrt zum eigentlichen Untersuchungsgebiet der Expedition werden erste Funktionstest der im weiteren Verlauf eingesetzten Systeme durchgeführt. Ferner werden Argo-Floats ausgebracht und es finden Probennahmen des Oberflächenwassers und der Luft zur Konzentrationsbestimmung langlebiger anthropogener organischer Substanzen statt. Ein erstes, kurzes Anlaufen von Walvis Bay (Namibia) wird genutzt um einen Teil der wissenschaftlichen Besatzung zu tauschen.

Hauptziel der ersten Expedition im Verbundvorhaben EVAR ist die Bestimmung verschiedener Schlüsselparameter und Prozesse im Zusammenhang mit der saisonalen Ausbreitung und Intensität der Sauerstoffminimumzone im Hochproduktionsgebiet vor Namibia. Hierzu werden verschiedene ozeanographische und geochemische Messsysteme entlang dreier Schnitte bei 17.25, 23 und 25°S eingesetzt. An fünf Hauptstationen werden Konzentrationen gelöster und partikulärer Substanzen in der Wassersäule analysiert und Sedimentproben für diverse biologische, mikrobielle, chemische, (bio)geochemische und geologische Untersuchungen gewonnen. Ergänzt wird diese Programm durch Teiluntersuchungen an weitere Stationen auf den genannten Schnitten und den Einsatz von Langzeitverankerungen. Die Ergebnisse sollen dazu dienen die Auswirkungen klimatisch, bzw. physikalisch gesteuerten Zirkulationsprozessen auf biologisch-(geo)chemischen Umweltbedingungen untersuchen zu können.

as well as protistan and bacterial plankton community structures in the surface layers at different life stages of eddies, and iii. To quantify the magnitude and variability of material fluxes to the seabed and microbial turnover in the sediment underneath the eddy passage.

Cruise M157

The cruise is divided into two sections. On the approx. 13-day transit to the main working area of the expedition, first functional tests of the systems used in the further course will be carried out. Furthermore, Argo floats are deployed and sampling of surface water and air to determine the concentration of long-lived anthropogenic organic substances takes place. A first, short stop in Walvis Bay (Namibia) is used to exchange part of the scientific crew.

The main objective of the first expedition in the joint EVAR project is the determination of various key parameters and processes related to the seasonal extension and intensity of the oxygen minimum zone in the high production area off Namibia. For this purpose, various oceanographic and geochemical measuring systems are used along three transects at 17.25, 23 and 25°S. At five main stations concentrations of dissolved and particulate matter in the water column are analyzed and sediment samples for various biological, microbial, chemical, (bio)geochemical and geological investigations will be recovered. This program is supplemented by sub-examinations and the use of mooring systems at other sites along the transects mentioned. The results should serve to investigate the effects of climatic and/or physically controlled circulation processes on biological/(geo)chemical environmental conditions.

Fahrt M158

Die „Transatlantische Äquatoriale Forschungsfahrt I“ (TRATLEQ I) konzentriert sich mit interdisziplinären Arbeiten auf ein besseres Verständnis von ozeanischem Auftrieb, seinem physikalischen Antrieb, seiner Bedeutung für die biologische Produktivität und die Planktongemeinschaften, den mit ihm verbundenen chemischen Umsatzraten, sowie dem Strömungssystem, das die Hintergrundbedingungen für den Kohlenstoffexport nach unten setzt. Die Fahrt stellt das erste physikalische, chemische, biogeochemische, und biologische Messprogramm dar, das den gesamten atlantischen Äquator vom östlichen bis zum westlichen Rand und von der Oberfläche bis zum Meeresboden erfasst. TRATLEQ I trägt zum GEOMAR Forschungsprogramm OCEANS, zum EU Projekt TRIATLAS, zum „Make Our Planet Great Again“ Projekt und zum BMBF Verbundprojekt BANINO im Rahmen des BMBF SPACES Programms bei.

Neben dem äquatorialen Atlantik soll auch das Küstenauftriebsgebiet vor Angola untersucht werden. Ein besonderer Schwerpunkt ist die Untersuchung des Kohlenstoffexports in größere Tiefen aufgrund von Teilchentransport und täglicher vertikaler Zooplanktonmigration. Die physikalische Ozeandynamik wird insbesondere mit Strömungs- und Tracermessungen studiert und soll eine Quantifizierung der Ventilation und des Wassermassenaustauschs zwischen westlichem und östlichem Rand erlauben. Das Messprogramm beinhaltet auch den Tausch von Langzeitverankerungen am Äquator bei 23°W und vor Angola bei 11°S.

Fahrt M159

Das Forschungsprogramm der Reise M159 setzt sich aus Beobachtungen für das BMBF Verbundprojekt RACE – Nordatlantik Synthese, der Programm-Orientierten Forschung (POF) des GEOMAR und Beobachtungen für das BMBF Verbundprojekt REEBUS zusammen.

Im Rahmen des BMBF RACE – Nordatlantik Synthese Projektes sowie den POF Zielen des

Cruise M158

The Transatlantic Equatorial Cruise I (TRATLEQ I) is an interdisciplinary cruise focusing on upwelling in the tropical Atlantic, its physical forcing, its importance for biological production and plankton communities, associated chemical cycles, as well as on the current system setting the background conditions for the downward carbon export. This cruise represents the first physical, chemical, biogeochemical and biological measurement program covering a whole equatorial section from the eastern to the western boundary and from the surface to the bottom. TRATLEQ I is a contribution to the GEOMAR research program OCEANS, to the EU projects TRIATLAS, the „Make Our Planet Great Again“ project and to the BMBF cooperative project BANINO in the frame of the BMBF SPACES program.

Beside the equatorial Atlantic, another study area is the coastal upwelling off Angola, where the same techniques will be applied to better understand the functioning of this tropical upwelling system. A particular focus is on the export flux of carbon to mesopelagic and bathypelagic depths associated with particle flux and diel vertical zooplankton migration. Physical ocean dynamics are studied by deep current measurements and tracer distributions allowing to quantify ventilation and water mass exchange between the western and the eastern boundary. The measurement program also includes the service of long-term moorings at the equator, 23°W and off Angola, 11°S.

Cruise M159

The research program of cruise M159 is a combination of observations of the BMBF collaborative research project RACE – Nordatlantik Synthesis, the Programme-Oriented Funding (POF) of GEOMAR and observations for the BMBF joint project REEBUS.

GEOMAR hat die Reise das Ziel die Variabilität der westlichen Randstromzirkulation vor Südamerika zu untersuchen sowie einen Beitrag für die Abschätzung der Variabilität der meridionalen Umwälzbewegung im Atlantik (AMOC) bei 11°S zu liefern. Vor der Küste Brasiliens stehen Untersuchungen von Transportschwankungen des Nordbrasilianischen Unterstroms (NBUC) - als Teil der AMOC und der Subtropischen Zellen (STCs) – auf intrasaisonalen bis dekadischen Zeitskalen im Vordergrund. Die Beprobung eines meridionalen Schnittes entlang von 35°W liefert zusätzliche Informationen im Hinblick auf Wassermassenänderungen und Signalausbreitungen entlang des Äquators.

Die Hauptarbeiten während M159 sind die Bergung und Ausbringung von Tiefseeverankerungen, Stationsarbeiten und die Datenaufnahme von zwei invertierten Bodenecholoten (PIES). Für die Stationsarbeiten wird hauptsächlich die Kombination aus CTD und Lowered ADCP genutzt werden. Zusätzlich werden unterwegs mit den bordeigenen Schiffs-ADCPs Strömungen und mit dem Thermosalinographen Wassermasseneigenschaften gemessen.

Das Ziel des BMBF Projektes REEBUS ist ein besseres Verständnis der Rolle von Wirbeln im Ozean vor allem im Hinblick auf die CO₂-Quellen-/Senkenfunktion und biologische Kohlenstoffpumpe in Küstenauftriebsgebieten. Hierbei beziehen sich die Hauptarbeiten auf dieser Reise auf die Bergung und Ausbringung einer Tiefseeverankerung nördlich der Kapverden (CVOO).

Within the framework of BMBF RACE – Nordatlantik Synthesis as well as the aims of POF GEOMAR, the aim of this cruise is to investigate the variability of the western boundary current system off South America as well as to estimate the variability of the Atlantic meridional overturning circulation (AMOC) at 11°S. A particular focus at the western boundary off Brazil will be on the transport variability of the North Brazil Undercurrent (NBUC) – as part of the AMOC and the subtropical cells (STCs) – on time-scales from intraseasonal to decadal. These observations will be complemented with the observations obtained on the meridional section across the equator at 35°W especially with respect to the signal propagation and changes of water masses.

The main operations during M159 will be the recovery and redeployment of several deep sea moorings, station work and the data recovery of two moored pressure inverted echo sounders (PIES). For the station work mainly the combination of CTD and Lowered ADCP will be used. In addition, underway measurements of upper ocean currents with the two shipboard ADCPs, hydrographic measurements and with the thermosalinograph probe will be performed.

The BMBF collaborative research project REEBUS aims at investigating the role of eddies in the carbon pump of eastern boundary upwelling systems. During M159, the main operations related to REEBUS will be the recovery and the deployment of the Cape Verde Ocean Observatory (CVOO), a deep-sea mooring located to the north of the Cape Verde islands.

Wissenschaftliches Programm

Das Auftriebsgebiet vor Mauretanien stellt eines der vier wichtigsten Auftriebsgebiete des globalen Ozeans dar. Es wird durch küstenparallele äquatorwärts strömende Passatwinde angetrieben. Dies bewirkt einen (Ekman) Wassermassentransport der von der Küste weggerichtet ist und einen Auftrieb von kälterem, nährstoff- und CO₂-reichem, jedoch sauerstoffarmen Tiefenwasser an die Meeresoberfläche zur Folge hat. Die biologische Produktivität dieser Regionen, die im Vergleich zur Fläche des globalen Ozeans nur etwa 1% beträgt, ist unverhältnismäßig hoch und unterhält eine bedeutende Fischerei-Industrie mit einem hohen Anteil am globalen Fangertag.

Diese Auftriebssysteme sind gegenüber anthropogener Stressfaktoren wie z.B. der Ozeanerwärmung und -versauerung als auch dem Verlust von Sauerstoff sehr empfindlich. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass sich die Intensität des Auftriebs und damit die biologische Produktivität mit sich ändernden Passatwinden verändert. Die Auswirkungen dieser Faktoren und deren synergistisches Zusammenspiel auf die Auftriebssysteme sind jedoch größtenteils unbekannt.

Die Bildung von Wirbeln erfolgt durch das Zusammenspiel von Strömung, der Bodentopographie, Vorkommen von Inseln und Landzungen, sowie atmosphärischem Antrieb. Bei der Wirbelbildung wird küstennahes Auftriebs-Wasser mit speziellen biogeochemischen Eigenschaften im Kern des Wirbels eingeschlossen und westwärts in den offenen Ozean abtransportiert. Somit können Wirbel als Erweiterung der küstennahen Auftriebsgebiete in den offenen Ozean betrachtet werden. Es werden drei verschiedene Arten von Wirbeln unterschieden („cyclonic“, „anticyclonic“, „anticyclonic modewater“), die stark unterschiedliche jedoch weitreichende Auswirkungen auf ihre physikalische und biogeochemische Umgebung haben. Dies

Scientific Programme

The Mauritanian upwelling system is one of four major eastern boundary upwelling systems that are driven by trade winds blowing equatorward parallel to the coast and anticyclonic wind stress curl causing offshore Ekman transport and upwelling of cold, nutrient-, CO₂-rich and oxygen-deficient near-surface waters. The biological productivity driven by the upwelled nutrients is disproportionately high given the size of these regions (~1% of total ocean area) and supports major industrial fisheries providing a large fraction of global fish catches.

These upwelling systems are vulnerable to various anthropogenic forcing factors such as ocean warming, acidification, and deoxygenation. On top of this, these systems are expected to experience changes in trade winds and hence upwelling intensity. The responses of upwelling systems to these multiple changes, let alone the synergistic nature of their interactions, are largely unknown.

Eddy generation is favored by interaction of large-scale currents with the bottom topography, islands or headlands, or by atmospheric forcing. During eddy generation, coastal waters from the upwelling region are trapped in the core of the eddy and subsequently transported offshore. Eddies can be considered as a continuation of the upwelling system transporting material and properties laterally into the open ocean. It has been shown that the three different types of eddies (cyclonic, anticyclonic, anticyclonic modewater) have drastically different, far-reaching effects on the physical and biogeochemical environment. This includes the observation of strong effects on biological productivity and biogeochemical processes as well as dramatic effects of

umfasst starke Effekte hinsichtlich der biologischen Produktivität als auch der Sauerstoffverfügbarkeit innerhalb eines Wirbels, die bis zur starken Sauerstoffverarmung reicht.

Ihnen kommt somit eine bedeutende steuernde Rolle in der biologischen Produktion und der Verfügbarkeit von Nährstoffen in Auftriebsgebieten zu. Damit verbunden üben die Wirbel ferner einen starken Einfluss darauf aus, ob diese Regionen als Quelle oder Senke für das Treibhausgas Kohlendioxid fungieren. Ein Teil des an der Oberfläche gebundenen organischen Kohlenstoffs wird in die Tiefsee exportiert und wird bereits auf dem Weg dorthin durch die Plankton-Gemeinschaft umgesetzt.

Besonders der Durchzug von „anti-cyclonic modewater“ Wirbel haben am Meeresboden erhöhte Sedimentationsraten von organischem Material zur Folge und liefern lebenswichtigen Kohlenstoff für das typischerweise an organischem Kohlenstoff verarmte benthische Tiefsee-Ökosystem. Bedingt durch Staubstürme kommt es an der Meeresoberfläche vor Mauretania zu einer zusätzlichen Düngung durch den atmosphärischen Eintrag von Eisen und Phosphat was die biologische Produktion zusätzlich verstärkt. Ferner fungieren die eingetragene Stäube als Ballast für die organischen Partikel, die dadurch schneller zum Meeresboden absinken und für einen effizienten Kohlenstofftransfer zwischen der Meeresoberfläche und der Tiefsee sorgen.

Zielsetzung der Expedition zum mauretianischen Auftriebsgebiet vor West-Afrika, ist es ein besseres Verständnis der Dynamik von mesoskaligen Wirbeln im Hinblick auf Quellen/ Senken Mechanismen von Kohlendioxid (CO₂) und der biologischen Kohlenstoffpumpe in Auftriebsgebieten als auch auf deren nährstoffarme Umgebung und den Tiefseeboden zu bekommen.

Spezifische Ziele sind die Erfassung,

eddies on subsurface oxygen concentration leading to severe hypoxia.

Eddies are important factors determining the quantity of biological production as well as the fate of upwelled nutrients and fixed organic carbon and thereby the overall CO₂ source/sink function of upwelling areas. Part of the organically bound carbon is exported to the deep sea via the biological carbon pump. However, the production of dissolved organic carbon (DOC) by extracellular release, cell lysis or by the enzymatic dissolution of particles retains organic carbon in surface waters where it becomes available for microbial respiration.

Especially the passage of anti-cyclonic mode water eddies induces high deposition rates of organic matter and provide vital carbon for the typically carbon poor deep-sea ecosystem. Dust storms off Mauritania lead to a fertilization of the sea surface with the deposition of atmospheric iron and phosphate which further increases the biological productivity. Furthermore, the dust acts a ballast of organic particles increasing their sinking rates and leading to an efficient carbon transfer between the sea surface and the deep-sea.

A major goal of the expedition to the Mauritanian upwelling area off West Africa is to obtain a better quantitative understanding of the dynamics of mesoscale eddies (diameter ca. 100 km) with particular focus to carbon dioxide (CO₂) source/sink mechanisms and the biological carbon pump in eastern boundary upwelling areas as well as their effects on the oligotrophic periphery including the deep-sea floor.

Specific aims are the determination of,

- i. der Flüsse von gelösten und partikulären Stoffen innerhalb der Wirbel, *i. fluxes of dissolved and particulate matter inside the eddy,*
- ii. des Umsatzes von Kohlenstoff, des CO₂-Austausches entlang der Meeresoberfläche, sowie *ii. the exchange of CO₂ and carbon turnover at the sea surface,*
- iii. von mikrobiellen und einzelligen Plankton-Gemeinschaften in verschiedenen Wirbeln, und *iii. of plankton communities in different eddies, and*
- iv. der Stärke und Variabilität des Materialtransports zum Meeresboden und dessen mikrobiellen Umsatz in Sedimenten unterhalb und ausserhalb der Wirbelpassage. *iv. of the magnitude and variability of the material transport to the seafloor and the microbial turnover of organic carbon in sediments underneath the eddy passage and outside.*

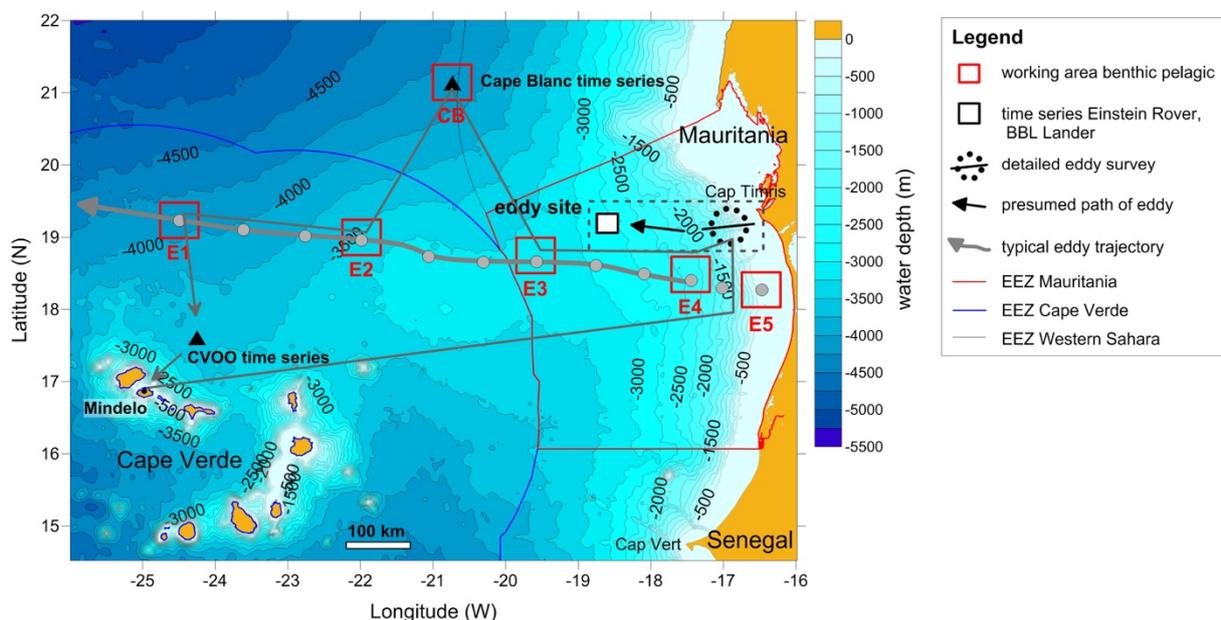


Abb. 2 Arbeitsgebiet im östlichen zentralen Atlantik vor Mauretanien und den Kap Verden. Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf spezifischen Stationen (rote Rechtecke E1 – E5) und einer detaillierten Wirbelstudie. Die Lokation des Wirbels wird kurz vor/während der Reise festgestellt, in der Karte wurde eine Lokation des Wirbels (Rechteck, gestrichelte Linie) angenommen. Bathymetry: GEBCO, source EEZ boundaries: Flanders Marine Institute (2018). Maritime Boundaries Geodatabase: Maritime Boundaries and Exclusive Economic Zones (200NM), version 10. <http://www.marinerregions.org/> <https://doi.org/10.14284/312>.

Fig. 2 Map of the working area in the Eastern Central Atlantic off Mauritania. Major focus is on specific working areas (red squares E1 to E5) and a detailed eddy survey whose location will be determined prior/during the cruise. The area outlined (rectangle with dashed line) represents an assumption of the location of this eddy survey. Bathymetry: GEBCO, source EEZ boundaries: Flanders Marine Institute (2018). Maritime Boundaries Geodatabase: Maritime Boundaries and Exclusive Economic Zones (200NM), version 10. <http://www.marinerregions.org/> <https://doi.org/10.14284/312>.

Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm gliedert sich in zwei wesentliche Messprogramme auf:

Der erste Teil des Arbeitsprogramms (AP 1) repräsentiert benthisch/pelagische Messungen entlang eines zonalen Tiefenschnitts bei 18° bis 20° N (Details s.u.). Diese Zone stellt den Korridor dar, innerhalb dessen die Wirbel von der Küste westwärts in den offenen Ozean driften.

Der zweite Teil des Programms (AP 2) bezieht sich auf die detaillierte Untersuchung eines einzelnen Wirbels und dessen näherer Umgebung (Details s.u.).

Der zeitliche Ablauf der Stationsarbeiten richtet sich nach dem Vorkommen eines Wirbels und dessen Lokation, die mit Hilfe von Satellitendaten erfasst werden soll. Sollte ein Wirbel zu Beginn der Reise nicht erkennbar sein wird mit den Arbeiten des AP 1 begonnen. Andernfalls wird der Schwerpunkt auf den Messungen der Wirbelregion (AP 2) liegen.

Arbeitsprogramm, AP 1: Zonaler Schnitt

Entlang der Stationen E1 bis E5 des zonalen Tiefenschnitts (Abb. 2) sollen Arbeiten in der Wassersäule als auch am Meeresboden durchgeführt werden. Der Tiefenschnitt umfasst Wassertiefen von 70 m bis ca. 4200 m. Die flachste Station E5 wurde bereits innerhalb des Kieler Sonderforschungsbereichs SFB754 während der MERIAN Reise MSM17 und der METEOR Reise M107 eingehend untersucht. Die Station CB (Abb. 2) befindet sich nahe der Zeitserienstation Cape Blanc bei 21°16'N 20°47'W. Die Station wurde während der vergangenen 2 Dekaden konstant beprobt und ermöglicht somit einen Vergleich unserer in situ Flussmessungen mit denen der Zeitserienstation.

Zur Erfassung von biologischen, geochemischen und physikalischen Parametern in der Wassersäule kommen die CTD/Wasserschöpfer Rosette, der Marine Snowcatcher, sowie die Mikrostruktur-CTD zum Einsatz.

Am Meeresboden werden an ausgewählten Stationen der BIGO Lander (Biogeochemical

Work Programme

The working program is based on two major observing objectives:

The first observing objective (AP 1) is an intense benthic/pelagic program within a zonal eddy passage at 18° to 20°N (details see below). This zone represents the major passage along which the eddies propagate westwards from the coast to the open ocean.

The second observing objective (AP 2) represents the detailed investigation of an individual eddy and its periphery (details see below).

The planning of the station work depends on the existence of an eddy and its location, which will be determined using satellite data. If at the beginning of the cruise an eddy cannot be detected, station work will start with AP 1 otherwise research will first focus on AP 2.

Working programme, AP 1: Zonal transect

Along five benthic stations (E1 to E5) of the zonal depth transect investigations will be conducted in the water column and the seafloor. The transect comprises water depths ranging from 70 m to ca. 4200 m. The shallowest site E5 is within the working area that was investigated within the Kiel Collaborative Research Centre SFB754 during MERIAN cruise MSM 17 and METEOR cruise M107. The station CB (Fig. 1) is closely located to the Cape Blanc long-term mooring site at 21°16'N 20°47'W. This site has been constantly surveyed with sediment traps over the last two decades. Hence, benthic measurements at CB can be interpreted in relation to the CB POM flux records.

For the investigation of biological, geochemical and physical parameter in the water column the CTD/water sampling rosette, the Marine Snowcatcher, as well as the microstructure CTD will be deployed.

At selected sites the BIGO Lander (Biogeochemical Observatory), the multiple corer

Observatory), der Multicorer (TV-MUC) sowie das geschleppte Kamerasystem OFOS eingesetzt. Die Einsätze der BIGO Lander und des TV-MUC dienen zur Erfassung der Geochemie der Sedimente und zur direkten Messung des Kohlenstoffabbaus am Meeresboden.

Die Meeresbodenerkartierung soll ferner durch ein tief-geschlepptes Side-Scan Sonar, das über den A-Rahmen eingesetzt werden soll, ergänzt werden. Zusätzlich soll das Multibeamsystem zur bathymetrischen Kartierung eingesetzt werden. Die Arbeiten mit den größeren Geräten (BIGO, TV-MUC) wird größtenteils tagsüber stattfinden.

Arbeitsprogramm, AP 2: Wirbelbeprobung

Das zweite Arbeitsprogramm umfasst die detaillierte Untersuchung der Physik, Biogeochemie und der Biologie eines einzelnen Wirbels auf räumlichen Skalen von 100 km – 10 m. Ein Beispiel einer solchen Wirbellokation ist in Abb. 2 dargestellt. Wir werden vor und während der Ausfahrt anhand von Satelliten Daten (Meeresoberflächenanomalien, Chl.a – Pigmente, Temperatur der Meeresoberfläche) einen Wirbel für die Untersuchung identifizieren. Der regionale Schwerpunkt liegt auf einer Wirbelpassage zwischen 18°N und 20°N, wobei Wirbel u.a. vor Kap Timris (Mauretanien) während des Sommers gebildet werden. Einen geeigneten Wirbel zu finden stellt eine Herausforderung dar, jedoch ist die Wahrscheinlichkeit einen geeigneten Wirbel während der Ausfahrt anzutreffen relativ hoch. Kap Timris stellt ein „hotspot“ für die Wirbelbildung dar, wobei pro Jahr ca. 5 Wirbel gebildet werden. Die Beprobung des Wirbels umfasst ein weitreichendes Programm, wobei für die Wassersäule die CTD/Rosette, die „underway CTD“, Snowcatcher sowie schiffsgestützte Strömungsmessungen eingesetzt werden. Die schiffsgestützten Messungen werden durch Messungen mittels eines Lagrangian Oberflächen Drifters, eines autonomen Wave Gliders und Glider Einsätze ergänzt. Die Zielsetzung dieser Arbeiten ist es ein kohärentes, multidisziplinäres Bild der physikalischen, biogeochemischen und biologischen Prozesse innerhalb eines Wirbels und dessen Peripherie zu bekommen.

(TV-MUC) as well as the towed camera system OFOS will be deployed. The deployment of the TV-MUC and the BIGO will enable to determine the sediment geochemistry and the organic matter degradation at the seafloor.

The mapping of the seafloor will be supplemented by the deployment of a deep-towed side scan sonar and the ship board multibeam system. Deployment of heavy gear will be primarily conducted during the day-time.

Working programme, AP 2: Eddy study

The second observing objective represents the detailed investigation of an individual eddy to investigate physical, biogeochemical and biological cycling on meso- to submeso-scales (100km to 10m). An example of this eddy location is provided in Fig. 2. We will perform satellite data analysis before and during the cruise to identify a suitable eddy from a combination of sea-level anomaly, ocean color (Chl-a proxy), and sea-surface temperature data. The regional focus will be along the eddy corridor between 18° and 20°N where eddies are generated off Cap Timris (Mauritania, see Fig. 1) during boreal summer. Targeted eddy surveys are logistically challenging. However, the probability to encounter eddies during the time course of the proposed cruise is very high. Cap Timris represents a “hotspot” for eddy formation of all types with an average of five eddies per year.

The detailed survey of an eddy will involve an intense sampling program, comprising CTD/rosette water sampling and underway measurements (ADCP, underway CTD). The ship-based operations are augmented by autonomous vehicle operations such as a Lagrangian surface drifter and an unmanned surface vehicle (Wave Glider) for high resolution biogeochemical measurements in parallel. The objectives are to obtain a comprehensive, multidisciplinary picture of physical, biogeochemical and biological characteristics of the eddy and its periphery.

Die Arbeiten in der Wassersäule werden durch ein intensives Messprogramm am Meeresboden ergänzt. Im Vordergrund der Arbeiten steht die direkte Erfassung des Abbaus von organischem Material in den Oberflächensedimenten. Wir erhoffen den erhöhten Stoffeintrag durch einen Wirbel im Vergleich zu dessen Peripherie in den Messungen abbilden zu können. Diese in situ biogeochemischen Messungen werden durch ex situ Sauerstoffmikroprofilmessungen, und einem Porenwasser-Geochemieprogramm, das an den Sedimenten der Lander und des TV-MUCs durchgeführt wird, ergänzt. Hinzu kommen mikrobiologische Messungen.

Zu Beginn der Wirbelstudie soll in der berechneten Zugbahn des Wirbels ein Langzeitlander (BBL) am Meeresboden verankert werden um die Effekte der Passage des Wirbels am Tiefseeboden aufzuzeichnen. Die Instrumentierung des BBL-Lander umfasst eine Sedimentfalle, Kamera, sowie eine CTD und ein ADCP zur Erfassung von physikalischen Parametern und der Strömung.

Die Heterogenität des Meeresbodens (z.B. Depressionen, Bauten von Organismen, Epifauna) kann die Ablagerung von partikulärem organischem Material und dadurch den Stofffluss zwischen dem Sediment und dem Bodenwasser erheblich verändern und somit die Effekte eines Wirbels überprägen. Um die Heterogenität des Meeresbodens in- und außerhalb der Wirbelpassage zu erfassen soll ein Kartierungsprogramm mittels des Multibeam System, des Sidescan Sonars und des geschleppten Kamerasystems (OFOS) erfolgen.

Wie oben erwähnt, kann die genaue Stationsplanung erst erfolgen, wenn ein Wirbel erkannt wurde.

An intense benthic programme parallels the measurements in the water column. Major emphasis is on the direct determination of organic matter in surface sediments. We hope, that we are able show that elevated organic matter supply to the seafloor caused by the eddy in comparison to its periphery is also reflected in enhanced organic matter degradation rates. These in situ biogeochemical measurements will be supplemented by ex situ oxygen profiling studies and pore water geochemical measurements in sediments retrieved by the lander and the TV-MUC. Further microbiological measurements will complete these activities.

In order to record effects of a passing eddy to the deep-sea floor, at the beginning of the eddy study a lander (BBL) will be deployed in front of the eddy within its calculated passage. The instruments of the BBL Lander comprise a sediment trap, a camera system as well as a CTD and ADCP for the measurement of physical parameters and current regime.

Heterogeneity of the seafloor (z.B. depressions, burrows of organisms, epifauna) can largely affect the deposition of particulate organic matter and the flux of solutes between the sediment and the bottom water and therefore probably superimposes the effect of an eddy passage. To constrain the effect of seafloor heterogeneity a mapping programme shall be conducted using the shipboard multibeam system, sidescan sonar system and a towed camera system (OFOS).

As mentioned above the exact station planning can only be done, when an eddy has been detected.

Tage/days

Auslaufen von Mindelo (Kap Verde) am 03.07.2019
Departure from Mindelo (Cape Verde) 03.07.2019

Wie im Arbeitsprogramm dargestellt hängt die Stationsplanung davon ab ob und wann ein Wirbel für die eingehende Untersuchung (s. AP 2) identifiziert werden kann. Sollte ein Wirbel bereits zu Beginn der Reise erkannt werden wird diese Beprobung dem in AP 1 dargelegten Stationsprogramm vorgezogen. Anderenfalls beginnen die Stationsarbeiten bei der Station E1.
As outlined in the working programme, the precise station planing depends on whether and when an eddy could be detected for the measurement programme AP2. If an eddy can be identified at the beginning of the cruise, AP2 will be conducted instead of AP1. Otherwise the station work starts as site E1.

Transit zum Arbeitsgebiet / *Transit to working area* 0.6

Beginn der Stationsarbeiten bei E1 (19°16' N 24°20' W). Im Anschluss Arbeiten entlang des zonalen Tiefenschnitts, der über die Stationen E1 bis E5 definiert ist. Der Schnitt umfasst eine Länge von 470 nm und einen Tiefenbereich von 4100 m (E1) bis 200 m (E5). Hinzu kommt eine nördliche Station Cape Blanc (CB). Sobald ein Wirbel identifiziert werden kann, werden diese Arbeiten unterbrochen und der Wirbel angesteuert.

Gesamtarbeitstage für Arbeitsprogramm AP 1 und AP 2 inklusive Transit zwischen den Stationen:

Start of the stationwork at station E1 (19°16' N 24°20' W). Subsequently stationwork will be conducted along the zonal depth transect defined by the stations E1 to E5.

The transect comprises a length of about 470 nm and a depth range of 4100 m (E1) to 200 m (E5). There will be an additional site Cape Blanc (CB).

As soon as an eddy can be identified, stationwork along the zonal transect will be interrupted and headed towards the position of the eddy.

Entire working days for workingprogramme AP1 and AP2 including the transit between the stations: 27.9

Transit zum Hafen Mindelo

Transit to port Mindelo 0.5

Total 29

Einlaufen in Mindelo (Kap Verde) am 01.08.2019
Arrival in Mindelo (Cape Verde) 01.08.2019

Wissenschaftliches Programm

Folgende Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf den Hauptabschnitt der Ausfahrt.

Bisherige Studien im Benguela Auftriebssystem vor der Küste Namibias belegen eine ausgeprägte Variabilität der Auftriebsintensität, der Sauerstoffzufuhr und der Primärproduktion. Untersuchungen zur Kopplung dieser zeitlichen und räumlichen Veränderungen mit mikrobiell getriebenen Prozessen in der Wassersäule und im Sediment liegen bestenfalls ansatzweise vor. Während der beantragten Expeditionen sollen in einem multidisziplinären Ansatz Beziehungen zwischen physikalischen Randbedingungen und Prozessraten, mikrobiellen Aktivitäten, sowie der makrobenthischen Lebensgemeinschaft in der Gegenwart und jüngster Vergangenheit untersucht werden. Hierzu soll neben in-situ Messungen und Inkubationsexperimenten ein intensives Beprobungsprogramm zur Bestimmung verschiedenster Schlüsselparameter des Ökosystems durchgeführt werden. Alle geplanten Untersuchungen dienen der gemeinsamen Beantwortung der Kernfrage, in wie weit sich Klimaänderungen auf die Ausbreitung vom Sauerstoffverarmung und Stoffflüsse im Benguela Auftriebssystem auswirken. Die beantragte Schiffszeit dient einer von zwei Expeditionen im Rahmen des interdisziplinären BMBF-Forschungsverbundprojektes EVAR (*Effects of variability in physical forcing on carbon and oxygen budgets*).

Das Hauptziel dieser ersten EVAR-Maßnahme ist es, hochauflösende Daten über die Variabilität des heutigen physischen Antriebs des BUS zu erhalten. Wir werden die gegenwärtige und vergangene Variabilität der Sauerstoffzufuhr sowie ihre wichtigsten biogeochemischen Rückmeldungen, wie sie in Sedimenten dokumentiert sind, bestimmen. Die Reaktion von mikro-

Scientific Programme

The following remarks relate exclusively to the main section of the cruise.

*Previous studies in the Benguela Upwelling System (BUS) off the coast of Namibia show a pronounced variability upwelling intensity, oxygen supply and primary production. The coupling of this temporal and spatial variability with microbially driven processes in the water column or in the sediment have hardly been investigated so far. During the requested expedition, we will use a multidisciplinary approach to examine relationships between physical forcing and process rates, microbial activities, as well as the macrobenthic community in the present and recent past. In addition to extensive in-situ measurements and incubation experiments, an intensive sampling program for the determination of various key parameters of the ecosystem will be carried out. All planned investigations serve to jointly answer the core question as to how far climate change affect the spread and intensity of oxygen depletion and fluxes in the BUS. The requested ship time serves one of two expeditions within the framework of the inter-disciplinary BMBF collaborative research project EVAR (*Effects of variability in physical forcing on carbon and oxygen budgets*).*

The major goal of this first EVAR expedition is to obtain high-resolution data on the variability of present day physical forcing of the BUS. We will determine the present and past variability of oxygen supply as well as their key biogeochemical feedbacks as documented in sediment achieves. The response of microbially driven processes to variations in redox scheme over the ranges observed today

biell gesteuerten Prozessen auf Schwankungen des Redox-Milieus, wie sie aktuell in der geologischen Vergangenheit beobachtet werden, sollen in gezielten Experimenten untersucht werden um deren Auswirkungen auf den Sauerstoff-, Kohlen- und Nährstoffhaushalt und ihren Einfluss auf die Produktion von Treibhausgasen zu verstehen. Durch die Verknüpfung der Variabilität physischer und biochemisch-chemischer Prozesse mit Reaktionen des Ökosystems soll ermöglicht werden Zukunftsszenarien von Auftriebssystemen unter sich wandelnden klimatischen Bedingungen zu entwickeln. Liste der Ziele:

- Bestimmung kurzfristiger Auftriebspitzen durch Aufzeichnen von hydrographischen Standardparametern
- Austausch der Langzeitverankerung bei 23°S und Aussetzen ähnlicher Sensoren bei 25°S
- Beprobung hochaufgelöster Sedimentarchive zur Untersuchung geochemischer Umweltbedingungen während des Holozäns
- Abschätzung der Reaktion des pelagisch-mikrobiellen Potenzials im Hinblick auf Änderungen der abiotischer Parameter (z.B. plötzlicher Anstieg der Sulfidkonzentration oder eine Abnahme des Sauerstoffgehalts) und wie diese mit der Spurengasproduktion und der Sulfidoxidation zusammenhängt. Identifizierung spezifischer biogeochemischer Transformationszonen und der beteiligten mikrobiellen Schlüsselorganismen. Untersuchung der Auswirkung der Sulfidanreicherung in der Wassersäule auf den P-Kreislauf.
- (Experimentelle) Aufklärung der Größenordnung und der Wege benthischer Nährstoffflüsse (N-Spezies, PO_4^{3-} , Fe), gelöster Gase (CH_4 , pCO_2 , N_2/Ar) sowie gelöstem anorg. Kohlenstoff (DIC), Sulfid und Silicat als Reaktion auf Schwankungen und Verschiebungen der Verfügbarkeit von O_2 und NO_3^- im Bodenwasser. Bestimmung der mikrobiellen Kontrollen und „Kipppunkte“ der Sequestrierung und Freisetzung von PO_4^{3-} sowie des benthischen N- und S-Zyklus. Untersuchung

and in the geological past will be investigated in targeted experiments to understand their impact on oxygen, carbon and nutrient budgets and their influence on the production of greenhouse gases. Linking variability of physical and biogeochemical forcing with ecosystem response will help to develop possible trajectories of future upwelling systems in a changing climate. List of aims:

- *Detection of short term upwelling peaks by recording standard hydrographic parameters*
- *Exchange the long-term mooring at 23°S and deployment of similar sensors at 25°S*
- *Recovering of high resolution sediment archives to investigate the history of geochemical environmental conditions during the Holocene*
- *Estimate the pelagic microbial potential to react towards changes in abiotic parameters such as a sudden increase in sulfide or decrease in oxygen, and how this is related to trace gas production and sulfide oxidation. Identification of specific biogeochemical transformation zones and the involved microbial key organisms. Investigation of the effect of sulfide accumulation in the water column on the phosphorus cycling.*
- *(Experimental) elucidation of the magnitude and pathways of benthic fluxes of nutrient (N-species, phosphate, Fe), dissolved gases (CH_4 , pCO_2 , N_2/Ar) as well as dissolved inorganic carbon (DIC), sulfide and silicate in response to fluctuating and shifting regimes of the bottom water availability of O_2 and NO_3^- . Determine microbial controls and tipping points of the sequestration and release of phosphate, as well as of the benthic N and S cycling. Investigate*

- der Toleranz versch. mikrobenth. Spezies gegenüber der Verfügbarkeit von O_2
- Bestimmung des Zeitpunkts und der Stärke von sulfidischen Ereignissen nach schritt-weißer Abreicherung von O_2 und NO_3^- im Bodenwasser
 - Bestimmung des Beitrags der makro- und mikrobenthischen Gemeinschaften zum Gesamtumsatz der gelösten Stoffe in Sedimenten an der oberen und unteren Grenze der OMZ
 - Bestimmung der Konzentration und Flüsse von Spurengasen im Oberflächenwasser sowie deren Beziehung zur Auftriebsintensität und der chemisch-physikochemischen Signatur des Ursprungswassers. Verknüpfung von Spurengasumwandlungen mit den mikrobiellen Schlüsselakteuren. Bestimmung der wichtigsten Tiefenhorizonte und Prozesse für Spurengasumwandlungen und der Empfindlichkeit der zugrundeliegenden Prozesse gegenüber Änderungen der Redoxbedingungen (O_2 - und H_2S -Konz.).
- *Determination of the timing and magnitude of sulfidic events after stepwise depletion of O_2 and NO_3^- in the bottom water*
 - *Determination of the contribution of the macro- and microbenthic communities to the overall solute turnover in sediments at the upper and lower boundary of the OMZ*
 - *Determination of sea surface concentration and fluxes of trace gases and relation to upwelling intensity and chemical physicochemical signature of the feed waters. Linking trace gas transformations to the microbial key players. Determination of the key depth horizons and processes for trace gas transformations and sensitivity of the underlying processes to variations in redox conditions (O_2 and H_2S levels).*

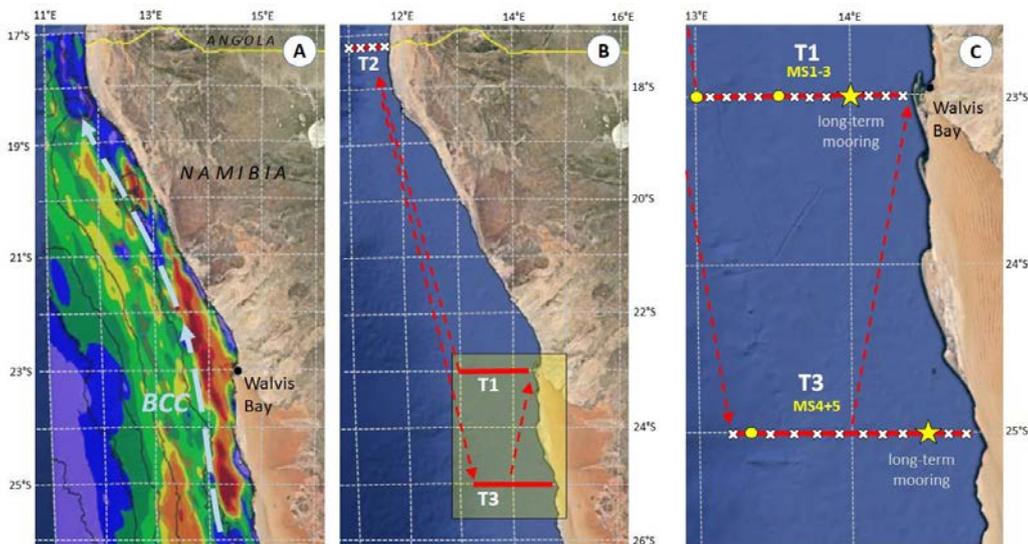


Abb. 3 Arbeitsgebiet der Expedition M157. A) TOC-Konzentrationen in Oberflächen Sedimenten, BBC – Benguela Küsten Strom; B) die Arbeiten konzentrieren sich auf drei Transekte (T1-3) bei 17.25, 23 und 25°S; Detailkarte mit den fünf Hauptstationen (gelb) (Sterne markieren die zwei Lokationen für Langzeitverankerungen) und 20 andere Lokationen (weiße Kreuze) an denen nicht alle Geräte zum Einsatz kommen.

Fig. 3 Working area of cruise M157. A) TOC concentrations in surface sediments, BBC – Benguela Coastal Current; B) the working program will focus on three transects (T1-3) at 17.25, 23 and 25°S; C) more detailed map with the five main stations (yellow) (stars mark the two sites for long-term moorings) and 20 other sites (white crosses) where not all casts will be used.

Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm konzentriert sich auf fünf Hauptlokationen, an denen alle Instrumente zum Teil mehrmals verwendet bzw. ausgesetzt werden. Drei dieser Sites liegen bei 23°S und zwei bei 25°S. Um auch außerhalb des Auftriebszentrums Informationen zu erhalten, müssen ausgewählte Untersuchungen zusätzlich in einem dritten Abschnitt bei 17.25°S durchgeführt werden. Aufgrund der spezifischen Anforderungen für die Verwendung unterschiedlicher Probenahme- und Beobachtungssysteme (insbes. 40 Std. Standzeit der Landersysteme, Wassersäulenbeprobung und Entnahme von Sedimentproben) können die einzelnen Stationen nicht vollständig nacheinander abgearbeitet werden. Um eine möglichst effiziente Nutzung von Arbeits- / Schiffstagen zu gewährleisten werden die Hauptstationen daher mehrfach angelaufen, um alle erforderlichen Untersuchungen wie geplant durchzuführen.

Folgende Geräte sollen auf der Expedition M157 eingesetzt werden (geplante Anzahl der Einsätze):

- Schwerelot (5)
- Multicorer (TV MUC; 15)
- Kastengreifer (12)
- Van-Veen-Probennehmer (36)
- Dredge (12)
- BIGO Lander (Biogeochemical Observatory; 15)
- Benthischer Spurenstoff Sampler (5)
- OFOS (Ozenaboden-Beobachtungssystem; 5)
- CTD-Kranzwasserschöpfer (40)
- AC-S (Absorptionspektrophotometer; 40)
- MSS (Mikrostruktursonde; 40)
- Pump-CTD (5)
- AFIS (Autom. Fixation-Injection Sampler; 5)
- Scanfish (2)
- TRIOS Sensor (40)
- Treibende Sensorkette (2)
- Langzeit-Verankerung (3)

Work Programme

The work program will concentrate on five main sites, where all instruments will be used, sometimes more than once. Three of these sites are on a transect at 23°S and two on a transect at 25°S. To get information also from outside of the upwelling center, selected investigations has to be conducted additionally along a third transect at 17.25°S. Due to the specific requirements for using different sampling and observation systems (esp. 40h bottom times of lander systems, sampling of the water column and sediment cores) the single stations cannot be processed completely one after the other. In order to guarantee the most efficient use of working/ ship days, the main stations will have to be visited several times in order to carry out all necessary investigations as planned.

Following devices should be used during expedition M157 (planned number of deployments):

- Gravity Corer (5)
- Multicorer (TV MUC; 15)
- Boxcorer (12)
- Van-Veen-Grap (36)
- Dredge (12)
- BIGO Lander (Biogeochemical Observatory; 15)
- Benthic Trace Sampler (5)
- OFOS (Ocean Floor Observation sys.: 5)
- CTD-Rosette (40)
- AC-S (Absorption-Spectrophotometer; 40)
- MSS (Microstruktur tube; 40)
- Pump-CTD (5)
- AFIS (Autom. Fixation-Injection Sampler; 5)
- Scanfish (2)
- TRIOS Sensor (40)
- Drifting mooring (2)
- Long-term moorings (3)

Außerdem werden verschiedene schiffseitige Systeme genutzt (Thermosalinograph, ADCP und Parasound). *Additionally, ships thermosalinograph, ADCP and Parasound system will be used.*

	Tage/days
Auslaufen von Mindelo (Kap Verde) am 04.08.2019 <i>Departure from Mindelo (Kap Verde) 04.08.2019</i>	
Transit zum Arbeitsgebiet / <i>Transit to working area</i>	13
Einlaufen in Walvis Bay (Namibia) am 18.08.2019 <i>Arrival in Port Walvis Bay (Namibia) 18.08.2019</i>	1
Arbeitsprogramm entlang eines Transects auf 23°S <i>Working Program along 23°S</i>	12
Transit zum Transect auf 18°S / <i>Transit to the transect at 18°S</i>	2
Arbeitsprogramm entlang eines Transects auf 18°S <i>Working Program along 18°S</i>	1,5
Transit zum Transect auf 25°S / <i>Transit to the transect at 25°S</i>	2,5
Arbeitsprogramm entlang eines Transects auf 25°S <i>Working Program along 25°S</i>	9
Transit zum Hafen Walvis Bay <i>Transit to port Walvis Bay</i>	1
	Total 42
Einlaufen in Walvis Bay (Namibia) am 16.09.2019 <i>Arrival in Walvis Bay (Namibia) 16.09.2019</i>	

Wissenschaftliches Programm

Die wichtigsten wissenschaftlichen Fragen, die während M158 behandelt werden, sind:

- Was bestimmt die Stärke und die Variabilität des Auftriebs am Äquator und am östlichen Rand des Südatlantiks?
- Welche Beziehungen und Rückkopplungen bestehen zwischen Auftrieb am Äquator und Ostrand, biologischer Produktivität, nach unten gerichtetem Kohlenstoffexport und Austausch von Wärme und Spurengasen an der Meeresoberfläche?

Diese beiden allgemeinen Fragen beziehen sich dabei auf mehrere spezifische Forschungsthemen. Hauptziel der Untersuchung der Variabilität des Angolastroms und des Auftriebs am Ostrand besteht darin, unser Verständnis von der relativen Rolle des lokalen Antriebs und von Fernwirkungen in Bezug auf SST-Muster, SST-Variabilität und biologische Produktivität zu verbessern. Im Fokus stehen dabei die Zirkulationsvariabilität und Wellenausbreitung entlang des Äquators und des Ostrandes.

Die Hauptziele der Untersuchung von äquatorialen Strömungen und Auftrieb besteht darin, i) die Wärme-, Frischwasser- und Nährstoffbudgets der äquatorialen Deckschicht, ii) die Dynamik und den Antrieb des äquatorialen Auftriebs und iii) die äquatorialen Sauerstoff- und Tracerverteilungen unterhalb der Deckschicht besser zu verstehen. Wir werden erstmals eine komplette Vermessung des äquatorialen Stromsystems, der zugehörigen hydrographischen Struktur und der meridionalen Geschwindigkeitsschwankungen vom östlichen bis zum westlichen Rand und von der Oberfläche bis zum Meeresboden vornehmen. Hiermit wollen wir unser Verständnis von der Entstehung äquatorialer Tiefenströmungen (EDJs) und ihrer Auswirkungen auf den

Scientific Programme

The main scientific questions that will be addressed during M158 are:

- *What sets the strength and the variability of equatorial and eastern boundary upwelling?*
- *What are the relations and feedbacks linking equatorial and eastern boundary upwelling with biological productivity, downward carbon export and air-sea exchange of heat and trace gases?*

These two general questions are related to several more specific research topics. The main objective of the study of the Angola Current and eastern boundary upwelling is to improve our understanding of the role of local and remote forcing in setting mean SST pattern and in driving local SST and biological productivity variability. A particular focus will be on circulation variability and propagation of equatorial and coastally trapped waves along the equatorial and coastal waveguides, respectively, affecting the coastal upwelling region of the South Atlantic.

The main objectives of studying equatorial currents and upwelling is to better understand i) the equatorial mixed layer heat, freshwater and nutrient budgets, ii) the dynamics and drivers of equatorial upwelling, and iii) the equatorial oxygen and tracer distributions in the subsurface and deep ocean. We will, for the first time, completely document the equatorial current system and associated hydrographic structure as well as meridional velocity fluctuations from the eastern to the western boundary and from the surface to the bottom. This effort is aimed to improve our understanding of the ocean dynamics responsible for the generation of EDJs and their impact on water mass exchange between eastern and western boundary, downward carbon flux, and tropical Atlantic climate variability.

Nutrient, dissolved organic and suspended particulate organic matter dynamics are

Wassermassenaustausch zwischen Ost- und Westrand, den Kohlenstoffexport in die Tiefe und die tropische Klimavariabilität des Atlantiks verbessern.

Während M158 werden zudem Nährstoffe, gelöstes organisches Material (DOM) und suspendierte organische Teilchen (POM) vermessen, um i) die Nährstoffverfügbarkeit in der euphotischen Zone zu quantifizieren, ii) die horizontalen Transportraten von Nährstoffen, DOM und POM in den äquatorialen Strömungen und vor Angola abzuschätzen und iii) die Remineralisierung organischer Substanz entlang des Produktivitätsgradienten innerhalb der zonalen äquatorialen Strombänder abzuleiten.

Weitere Schwerpunkte sind i) die Quantifizierung der Primärproduktion und Stickstofffixierung entlang des Äquators, ii) die Ermittlung des Hauptantriebs der Primärproduktion entlang des äquatorialen Produktivitätsgradienten und iii) der Zusammenhang zwischen Primärproduktion und Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften in Abhängigkeit von Kohlenstoff- und Stickstoffexportraten in die Tiefe.

Durch den Einsatz eines *Underwater Vision Profiler 5* (UVP) und eines *Acoustic Zooplankton and Fish Profiler* (D-AZFP) sollen die Zusammenhänge zwischen Primärproduktion und Teilchenfluss in die Tiefe sowie Primärproduktion und Zooplankton- bzw. Nektonbiomasse entlang des Produktivitätsgradienten des Äquators und vor Angola untersucht werden. Die Forschungsfahrt soll zudem für den Einsatz von zwei verschiedene Messsysteme genutzt werden, die die Verteilung von Mikroplastik an der Oberfläche entlang der gesamten Fahrtroute zu dokumentieren.

Schließlich wollen wir auch den Gasaustausch an der Meeresoberfläche sowie die Dynamik von Treibhausgasen (N_2O , CO_2 , CH_4) und O_2 in der Deckschicht des östlichen tropischen und Südatlantiks während Auftriebsereignissen beurteilen und den möglichen Einfluss des Teilchenflusses auf die Verteilung von N_2O in der Wassersäule untersuchen.

studied i) to quantify nutrient availability in the euphotic zone, ii) to estimate the horizontal transport rates of nutrients, dissolved organic and suspended particulate matter in the equatorial currents and the Angola current, and iii) to derive indicators of organic matter remineralization along the gradient of productivity within east- and westward equatorial current bands.

Phytoplankton productivity, nitrogen fixation, and community structure are studied i) to quantify primary production and nitrogen fixation rates along the equator, ii) to identify the major drivers of primary productivity along the equatorial gradient of productivity, and iii) to relate changes in primary productivity and community composition to variations in export fluxes of carbon and nitrogen to depth.

Other main foci of M158 are particulate matter fluxes, zooplankton/nekton dynamics and zooplankton/nekton – particle interactions. By using an Underwater Vision Profiler 5 (UVP) and an ultra-deep Acoustic Zooplankton and Fish Profiler (D-AZFP), our work aims to resolve the links between primary productivity and particulate-matter flux, as well as primary productivity and zooplankton/nekton biomass along the productivity gradient of the equator and in the Angola upwelling region.

The cruise will be used for the operation of two different measurement systems that will be installed to document the distribution of microplastics in the surface layer along the entire cruise track.

Finally, we also aim to assess the air-sea fluxes and dynamics of greenhouse gases (N_2O , CO_2 , CH_4) and O_2 in the mixed layer of the eastern tropical South Atlantic during upwelling events and we investigate the potential role of sinking particulate matter in shaping mid-water distribution of N_2O along the equator.

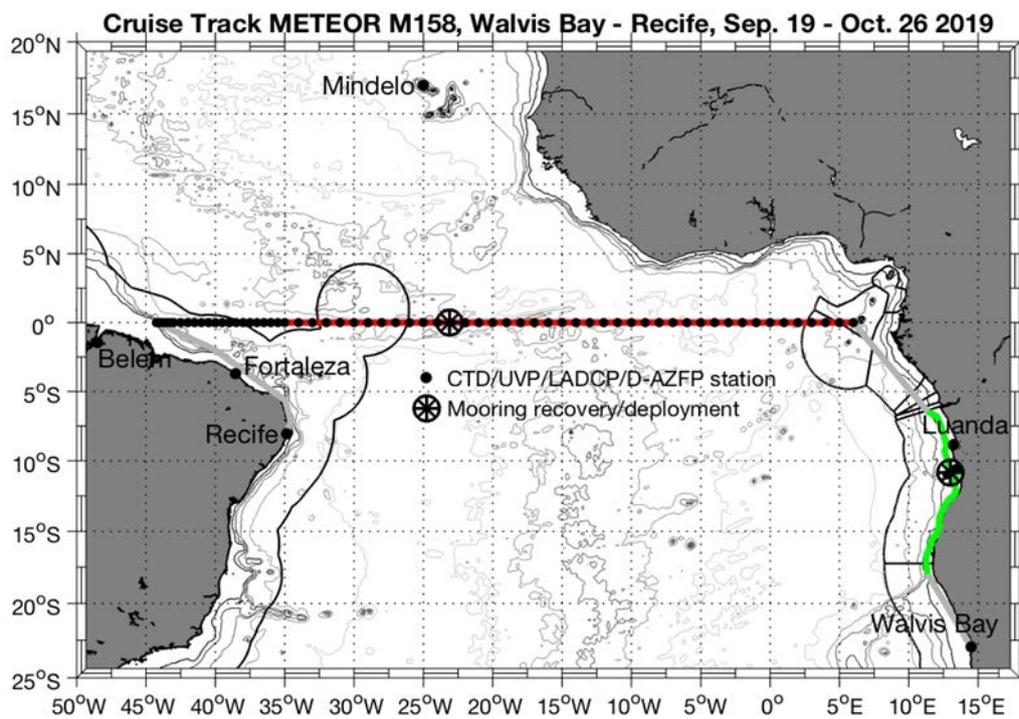


Abb. 4 Das Arbeitsgebiet der Reise M158. Entlang des Kontinentalabhangs vor Namibia und Angola werden CTD-Unterwegs- und Mikrostrukturmessungen durchgeführt. Bei 11°S vor Angola und entlang des Äquators von 6°O bis 44°W werden hydrographische Schnitte mit dem CTD/UVP/LADCP/D-AZFP System aufgenommen. Auf diesen Schnitten werden zwei Langzeitverankerungen gewechselt.

Fig. 4 The working area of cruise M158. Underway CTD and microstructure measurements will be carried out along the continental slope off Namibia and Angola. Hydrographic and current sections will be taken near 11°S and along the equator from 6°E to 44°W using the CTD/UVP/LADCP/D-AZFP system and both shipboard ADCPs. On these sections two long-term moorings will be serviced.

Arbeitsprogramm

Nach dem Auslaufen aus dem Hafen von Walvis Bay, werden wir mit Unterwegs-CTD und Mikrostrukturmessungen entlang der 500 m Tiefenlinie von 18°00'S, 11°22'O in der namibischen EEZ bis 6°27'S, 11°22'O in der angolanischen EEZ beginnen. Dieser Schnitt kreuzt die Angola-Benguela Frontalzone (ABFZ), die durch einen äquatorwärtigen Temperaturanstieg von etwa 8°C innerhalb weniger 100 km gekennzeichnet ist. Der Schnitt entlang des Kontinentalabhangs wird unterbrochen durch einen Schnitt von 10°30'S, 13°30'O bis 11°00'S, 12°45'O quer dazu, der bereits dreimal seit Juli 2013 vermessen wurde. Dieser Schnitt erfasst den östlichen Randstrom und die Vermischung auf dem Schelf und am Kontinentalabhang. Die Langzeitverankerung bei 10°50'S, 13°00'O wird gewechselt.

Nach der Beendigung des Messprogramms vor Namibia und Angola, soll mit dem äquatorialen Schnitt begonnen werden, der von 6°O vor São Tomé und Príncipe bis 44°W vor Brasilien reicht. Entlang des Äquators werden Stationsarbeiten mit einer Auflösung von 1° geographischer Breite mit dem CTD/UVP/LADCP/D-AZFP System durchgeführt. Zusätzlich werden Mikrostrukturprofile vermessen, insbesondere in der Nähe der äquatorialen PIRATA Bojen bei 0°O, 10°W, 23°W und 35°W, die in Studien zum Wärme- und Frischwasserbudget der ozeanischen Deckschicht eingehen und die es erlauben den diapycnischen Nährstofftransport zu bestimmen. Weiterhin werden wir mehrere Multinetz Einsätze vornehmen, um die Zooplanktonverteilung detaillierter zu charakterisieren. Am Äquator bei 23°07'W wird eine Verankerung gewechselt. Diese Verankerung wurde erstmals im Dezember 2001 ausgelegt und danach kontinuierlich (mit einer Lücke in 2003) im Rahmen verschiedener nationaler und internationaler Projekte (NORDATLANTIK, SFB 754, PIRATA) fortgeführt. Sie ist ein Langzeitobservatorium der Stärke und der Variabilität des

Work Programme

Work Programme

After leaving the port of Walvis Bay, we will start with an along-shelf underway CTD and microstructure measurement section along the 500-m isobaths starting at 18°00'S, 11°22'E in the Namibian EEZ and ending at 6°27'S, 11°22'E in the Angolan EEZ. This section crosses the Angola Benguela Frontal Zone (ABFZ) with an equatorward temperature increase of about 8°C within a few hundred kilometers. The along-slope section will be intersected by a cross-shelf section starting at 10°30'S, 13°30'E and ending at 11°00'S, 12°45'E that was already covered three times since July 2013. The section is aimed to observe the eastern boundary current and mixing at the shelf and continental slope. Furthermore, the long-term ADCP mooring at 10°50'S, 13°00'E will be recovered and redeployed.

After finishing the work program off Namibia and Angola we will head toward the equatorial section that will start at 6°E off São Tomé and Príncipe and will end at 44°W off Brazil. Along the equator full-depth CTD/UVP/LADCP/D-AZFP stations will be performed at a horizontal resolution of 1° longitude. These measurements will be complemented by microstructure stations particularly near the equatorial PIRATA buoys at 0°E, 10°W, 23°W, and 35°W to enhance the mixing dataset available for mixed layer heat and freshwater budget studies and to provide information on diapycnal nutrient fluxes. Furthermore, we will conduct several Multinet cast to characterize the zooplankton community in more detail. When passing the equatorial mooring position at 23°07'W, the long-term, top-to-bottom current meter mooring will be recovered and redeployed. This mooring is deployed since December 2001 with a gap in 2003 as part of different national and multinational projects among them is the BMBF collaborative project NORDATLANTIK, SFB 754 and the international PIRATA program. It represents a long-

EUCs, der den äquatorialen Auftrieb im östlichen tropischen Atlantik versorgt, und der Struktur der Tiefenströmungen einschließlich der regelmäßigen zwischenjährlichen Fluktuationen der EDJs.

Während der gesamten Reise werden Unterwegsmessungen mit gepumpten Systemen zur Bestimmung von SST, SSS, O₂, N₂O, CO, CO₂, CH₄, Gesamtgasdruck, Mikroplastik, Teilchengröße und -anzahl, und der Zusammensetzung der mikrobielle Gemeinschaft (CLASS) sowie Strömungsmessungen mit den schiffseigenen 38 kHz und 75kHz Ocean Surveyor ADCPs und einem X-Band Schiffsradar durchgeführt. Wasserproben aus der CTD Rosette werden auf eine ganze Reihe verschiedener Parameter hin analysiert. Dazu zählen Salzgehalt, O₂, N₂O, Nährstoffe, die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft (Fluorometry, HPLC und CLASS), DOM, POM, SF₆ und CFC-12.

Messungen der Primärproduktion wird jeden Tag entlang des Äquators bei einer Station innerhalb von 2 Stunden während Sonnenaufgangs durchgeführt. 15N and 13C Fixierungsraten werden täglich zur Mittagszeit vermessen. Teilchen zur Bestimmung der natürlichen Verteilung von Kohlenstoff- und Stickstoffisotopen werden an allen Stationen in verschiedenen Tiefen gesammelt.

Die CTD ist mit Leitfähigkeits-, Temperatur-, Druck- und Sauerstoffsensoren, mit einem Chlorophyll Fluorometer, einem Trübungs- und einem PAR-Sensor sowie nach oben und unten schauenden ADCPs ausgerüstet. Zusätzlich sind an der CTD ein UVP5, ein D-AZFP und eine CPICS Kamera installiert, die bei allen Stationen betrieben werden. Der UVP5 und CPICS werden hochauflösende Daten über Teilchen, *Trichodesmium* sp., sowie Zooplankonverteilung und Biovolumen liefern. Die hydrakkustischen Messungen des AZFP werden Abschätzungen von Zooplankon- und Nektonverteilung sowie Biovolumen ermöglichen.

Während M158 werden Oberflächendrifter und Argo Tiefendrifter ausgelegt.

term observatory of the strength and variability of the EUC supplying the equatorial upwelling in the eastern tropical Atlantic as well as of deep current and hydrographic structure including the regular interannual oscillation of the EDJs.

Underway measurements taken throughout the entire cruise will consist of near-surface water sampling for the determination of SST, SSS, O₂, N₂O, CO, CO₂, CH₄, total gas tension, microplastics, particles and microbial community composition (CLASS) from the ships underway water supply systems, as well as current observations with the 38 kHz and the 75 kHz Ocean Surveyor shipboard ADCPs and a marine X-Band radar. Water samples from the CTD rosette will be analyzed for a variety of parameters, including salinity, oxygen, N₂O, nutrients, microbial community composition (Fluorometry, HPLC and CLASS), DOM, POM, SF₆ and CFC-12.

Primary production measurements will be made each day along the equatorial section at a station sampled within 2 hours of sunrise. 15N and 13C fixation rates will be measured each day at the station closest to noon. Particles for defining the natural abundance of carbon and nitrogen isotopes will be collected at each station at several sampling depths.

*The CTD will be equipped with conductivity, temperature, pressure, and oxygen sensors, a chlorophyll fluorometer, a transmissometer, a PAR sensor, and an upward and a downward looking ADCP. Furthermore, an UVP5, a D-AZFP and a CPICS camera will be integral parts of the CTD and will be operated during all CTD casts of the cruise. The UVP5 and the CPICS will deliver high-resolution data on particles, *Trichodesmium* sp., as well as zooplankton abundance and biovolume. The AZFP hydroacoustic measurements will yield estimates of zooplankton and nekton abundance and biovolume.*

During M158, we will deploy surface drifters and Argo floats.

	Tage/days
Auslaufen von Walvis Bay (Namibia) am 19.09.2019 <i>Departure from Walvis Bay (Namibia) 19.09.2019</i>	
Transit zum Arbeitsgebiet / <i>Transit to working area</i>	1.4
CTD Stationsarbeiten / <i>CTD station work</i>	9.2
Mikrostrukturstationen / <i>Microstructure stations</i>	1.2
Multinetzstationen / <i>Multinet stations</i>	0.5
Aufnahme (2) / Auslegung (2) von Verankerungen / <i>Recovery (2) / deployment (2) of moorings</i>	1.0
Unterwegsmessungen zwischen Stationen / <i>Underway measurements between stations</i>	20.2
Transit zum Hafen Recife <i>Transit to port Recife</i>	3.5
	Total 37
Einlaufen in Recife (Brasilien) am 26.10.2019 <i>Arrival in Recife (Brazil) 26.10.2019</i>	

Wissenschaftliches Programm

Das übergeordnete Ziel des BMBF Projekts RACE - Nordatlantik Synthese ist es, Änderungen der Atlantikzirkulation und die Auswirkungen auf Klima und Küstenschutz in Westeuropa und Deutschland zu untersuchen, speziell im Hinblick auf den globalen Klimawandel. Um dieses Ziel zu erreichen, sind ein besseres regionales Prozessverständnis sowie verbesserte Simulationen unerlässlich. Innerhalb des Teilprojektes AP1.1 soll die Variabilität des westlichen Randstromsystems vor der Küste Brasiliens bei 11°S, speziell des NBUC und des tiefen westlichen Randstroms (DWBC) untersucht werden. Der NBUC reagiert sehr empfindlich auf Schwankungen der AMOC und der subtropischen Zelle (STC) und bildet deshalb eine Schlüsselregion für die Zirkulation des Atlantiks. Außerdem soll die mittlere Stärke der AMOC sowie deren Variabilität bei 11°S abgeschätzt werden. Das Beobachtungsprogramm beinhaltet an einem Verankerungsfeld vor der brasilianischen Küste gemessene Strömungs-, Temperatur- und Salzgehaltzeitserien sowie räumlich hochauflösende Strömungs- und hydrographische Messungen entlang von zwei Schnitten bei 5°S sowie 11°S. Zusätzlich sind am oberen Kontinentalabhang vor Brasilien zwei invertierende Bodenecholote verankert. In Kombination mit Bodendruckzeitserien vor der afrikanischen Küste auf der anderen Seite des Atlantiks ermöglichen diese Daten zusammen mit Information über die östlichen und westlichen Randstromtransporte und des Ekmantransportes eine Abschätzung der Stärke und Variabilität der AMOC bei 11°S.

Konkrete Ziele des Beobachtungsprogrammes bezüglich RACE sind die Bestimmung

- von Transportschwankungen des NBUC, DWBC und der AMOC auf

Scientific Programme

The overarching goal of BMBF RACE – Nordatlantik Synthesis is to gain a better understanding of the changes of the Atlantic circulation and its influence on climate and coastal protection in Western Europe and Germany, especially in the light of global climate change. In order to reach this goal, a better understanding of the involved processes and an improvement of simulations are inevitable. Within the subproject AP1.1, the variability of the western boundary current system off Brazil at 11°S, in particular the variability of the NBUC and the deep western boundary current (DWBC) is investigated. The NBUC reacts very sensitive to fluctuations of the AMOC and the subtropical cell (STC) and therefore forms a key region for the Atlantic circulation. In addition, the mean strength of the AMOC as well as its temporal variability at 11°S will be estimated. The observational programme consists of long-term velocity, temperature and salinity time series from a mooring array off the Brazilian coast at 11°S and high spatial resolution velocity and hydrographic measurements along two hydrographic sections at 5°S and 11°S. In addition, two pressure inverted echo sounders (PIES) are moored at the western boundary at 11°S. Together with data of two other moored PIES at 11°S on the eastern side of the Atlantic and in combination with data of the eastern and western boundary current transports and the basin-wide Ekman transport, the strength and variability of the AMOC at this latitude can be estimated.

The main goals of the observational programme related to RACE are the determination of:

- *the transport variability of the NBUC, DWBC and the AMOC on intraseasonal to decadal timescales,*

- intrasaisonalen bis dekadischen Zeitskalen,
 - der Kohärenz der Transportschwankungen am Westrand bei 11°S und der AMOC Variabilität im subpolaren Nordatlantik,
 - der Ausbreitung von Wassermassenanomalien innerhalb der AMOC,
 - des Zusammenhangs zwischen NBUC Schwankungen bei 11°S und Schwankungen des äquatorialen Unterstroms (EUC) bei 23°W und dessen Bedeutung für die Wärme- und Frischwasserbilanz des tropischen Ostatlantiks
- *the coherence of transport variability at the western boundary at 11°S with AMOC variability in the subpolar North Atlantic,*
 - *the spreading of water mass anomalies within the AMOC,*
 - *the connection between NBUC variability at 11°S and Equatorial Under Current (EUC) variability at 23°W, and its significance for the heat and freshwater budgets in the eastern tropical Atlantic.*

Um diese Zielsetzung weiter zu unterstützen soll der meridionale Schnitt bei 35°W über den Äquator zwischen 5°S und 5°N erstmalig nach einer 16jährigen Beobachtungspause wieder beprobt werden. Die auf M159 neu aufgenommenen Beobachtungen können dann auf Änderungen der Wassermasseneigenschaften sowie deren Ausbreitungspfade über den Äquator analysiert werden und damit interessante Erkenntnisse über die Signalausbreitung zwischen den Hemisphären sowie entlang des Äquator im Vergleich zu dem meridionalen Schnitt bei 23°W liefern.

Die CVOO Verankerung nördlich der Kap Verden bildet einen Teil des BMBF Projektes REEBUS. In diesem Projekt steht das Verständnis für die Rolle mesoskaliger Wirbel für den lateralen Transport biogeochemischer Eigenschaften und deren Kopplung mit der Kohlenstoffpumpe in einer der biologisch produktivsten Auftriebsregionen des Ozeans im Vordergrund. Die Langzeitbeobachtungen an der CVOO, die auf dieser Reise aufgenommen und wieder ausgebracht werden soll, bietet die Basis für die langfristige Beobachtung der Variabilität verschiedenster Parameter in dieser Region und wird durch viele weitere Beobachtungen innerhalb des Projektes auf vorangegangenen (M156) und folgenden Reisen (M160) ergänzt.

In order to further support these aims the meridional section at 35°W crossing the equator between 5°S and 5°N will be sampled for the first time again after a break in observations of 16 years. The data which will be acquired on M159 will then be analysed for changes in water mass properties and water mass pathways across the equator and will thereby provide interesting insights into the signal propagation across the hemispheres as well as the signal propagation along the equator in comparison with the meridional section at 23°W.

The CVOO mooring north of the Cape Verde island is part of the BMBF project REEBUS. This project aims at a better understanding of the role of mesoscale eddies for the lateral transport of biogeochemical properties and their coupling with the carbon pump of one of the biologically most productive upwelling regimes of the ocean. The long-term observations at CVOO, which will be recovered and redeployed on this cruise, are the basis for the long-term observations of the variability of various parameters in this region, which will be complemented with various additional observations within the project acquired partly on one of the previous cruises (M156) and on one of the following cruises (M160).

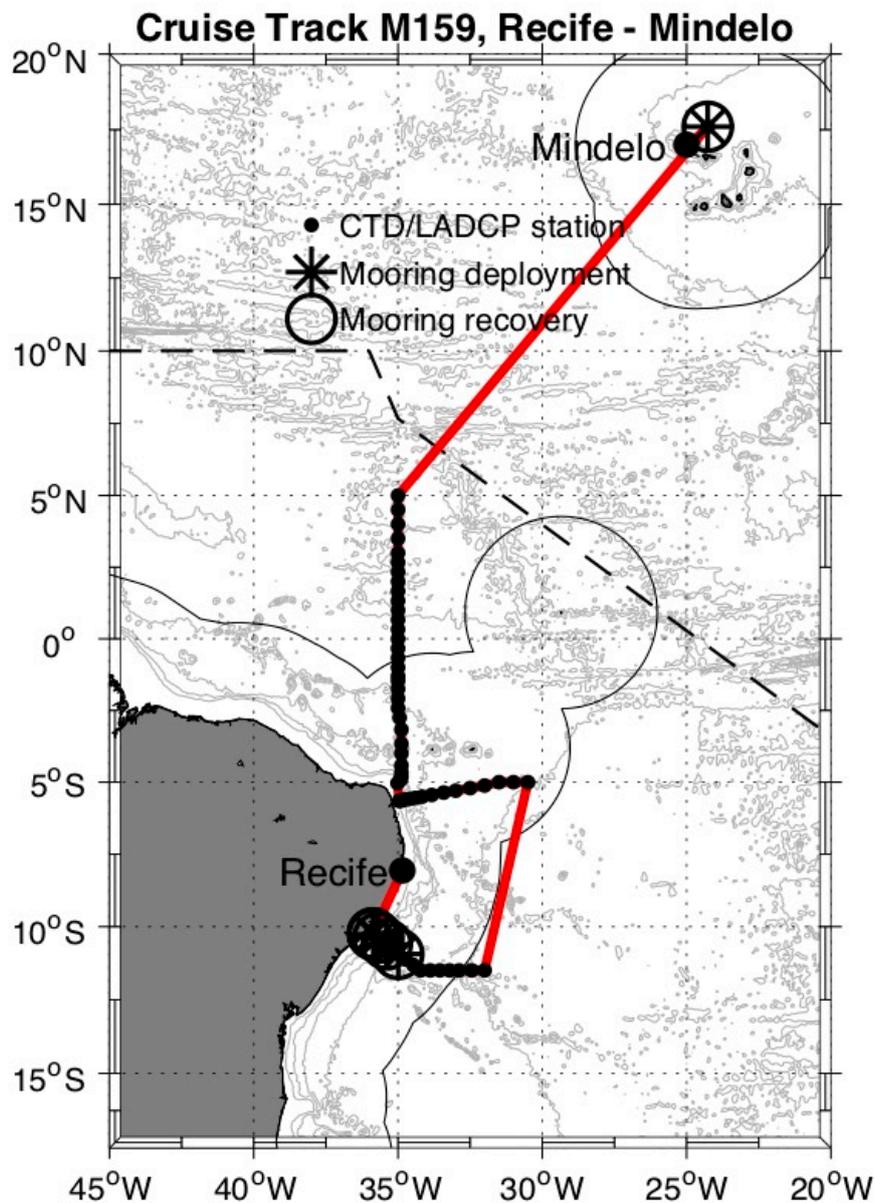


Abb. 5

Das Arbeitsgebiet der Reise M159. Die Beobachtungen der beiden zonalen Schnitte bei 11°S und 5°S dienen der Vermessung des Randstromarrays vor Brasilien, während der meridionale Schnitt entlang von 35°W Aufschluss über Änderungen der Wassermassen und deren Ausbreitung über den Äquator liefert.

Fig. 5

The working area of cruise M159. The observations along the two zonal sections at 11°S and 5°S off the Brazilian coast are designed to examine the variability of the boundary current system, whereas the meridional section along 35°W will provide information about water mass changes as well as changes in water mass pathways across the equator.

Arbeitsprogramm

Während M159 sollen 5 Verankerungen aufgenommen sowie 5 Verankerungen wieder ausgelegt werden. Dies beinhaltet das gesamte Verankerungsarray bestehend aus 4 Verankerungen im Randstromsystem vor Brasilien bei 11°S sowie die CVOO Verankerung nördlich der Kapverden (Abb. 5). Die Verankerungen bei 11°S vor Brasilien sind jeweils ausgestattet mit einem ADCP, welches die oberflächennahen Strömungen erfasst, Punktströmungsmessern für die Vermessung der tieferen Strömungen, sowie CTD Sensoren, um Wassermassenveränderungen und Variabilität zu erfassen. Dieses Verankerungsarray wurde während M98 erstmals ausgelegt, während M106, M119, M130 und M145 ausgetauscht und soll nun während M159 erneut ausgelegt werden. Die Verankerungspositionen folgen dem Kontinentalhang, um möglichst alle Komponenten des Randstromsystems zu erfassen. Während M106 wurden zusätzlich zwei invertierte Bodenecholote am Schelf verankert. Die Daten dieser Geräte wurden auf M119 und M130 erfolgreich ausgelesen, auf M145 aufgenommen und wieder ausgelegt und sollen auf M159 wieder ausgelesen werden. CVOO, nördlich der Kap Verden ist eine multi-interdisziplinäre Verankerung, die sowohl Strömungsmesser und hydrografische Instrumente enthält als auch Sediment und Sinkstofffallen, um biogeochemische Parameter zu dokumentieren. CVOO wurde 2006 erstmalig ausgelegt und soll auf dieser Fahrt zum 9. Mal wieder ausgelegt werden.

Stationsarbeiten schließen Arbeiten mit dem kombinierten CTD/LADCP System zur Bestimmung von Temperatur, Salzgehalt, O₂, und Strömungen. Wasserproben werden genutzt, um die elektronischen CTD Sensoren für Leitfähigkeit und Sauerstoff zu kalibrieren. Entlang der Schnitte über den westlichen Randstrom bei 5°S und 11°S werden hydrographische und Strömungsprofile in besonders hoher horizontaler Auflösung erfasst. Zusätzlich zu diesen zonalen Schnitten, soll ein meridionaler Schnitt über den Äquator bei 35°W zwischen 5°S und 5°N

Work Programme

During M159 5 mooring recoveries as well as 6 mooring deployments are planned. This includes the whole mooring array consisting of 4 full depth moorings off the Brazilian coast at 11°S as well as the CVOO mooring north of Cape Verde (Fig. 5).

The moorings at 11°S off Brazil are all equipped with an ADCP monitoring the flow field close to the surface, while current meters monitor the deeper currents. Additionally CTD sensors are included capturing water mass changes and variability. This mooring array was deployed for the first time during M98, exchanged on M106, M119, M130 and 145 and will be recovered and redeployed during M159. The moorings are located following the continental slope in order to capture all features of the boundary current system. In addition, two PIES were deployed on the shelf during M106. The data of these instruments were read out successfully on M119 and M130 and were recovered and redeployed during 145. The data of these instruments will be read out again on M159. CVOO north of the Cape Verde islands is a multi-disciplinary mooring including current meter and hydrographical instrumentation as well as sediment and particle traps in order to investigate biogeochemical parameters. CVOO was deployed for the first time in 2006 and will be redeployed on this cruise for the 9th time.

Station work includes measurements with the CTD/LADCP system to observe temperature, salinity, O₂, and currents. Water samples will be taken to calibrate the electronic CTD sensors for conductivity and oxygen. Along the zonal section crossing the western boundary currents at 5°S and 11°S, full ocean depth measurements with high horizontal resolution will be carried out with the CTD/LADCP system to obtain deep hydrographic and current sections. Additionally to these zonal sections, a meridional section crossing the equa-

beprobte werden. Dieser Schnitt wurde zwischen 1990 und 2003 14 mal beprobt, seit dem gibt es aber keinerlei Beobachtungen entlang dieses Schnittes.

Kontinuierlich werden während der Fahrt Oberflächentemperatur und –salzgehalt mit dem Thermosalinographen aufgezeichnet. Ebenfalls kontinuierlich werden Strömungsmessungen mit beiden schiffseigenen ADCPs (75 kHz und 38 kHz) durchgeführt.

tor at 35°W between 5°S and 5°N will be obtained. This section has been intensely monitored between 1990 and 2003 (14 times), but has since then not been occupied.

Continuous underway observations will be carried out with the thermosalinograph to measure temperature and salinity at the sea surface, and with the two shipboard ADCPs (OS 38kHz, OS 75kHz) to measure velocity in the upper 1000m.

	Tage/days
Auslaufen von Recife (Brasilien) am 29.10.2019 <i>Departure from Recife (Brazil) 29.10.2019</i>	
Transit zum Arbeitsgebiet / <i>Transit to working area</i>	0.7
CTD Stationsarbeiten / <i>CTD station work</i>	7.3
Aufnahme (5) / Auslegung (5) von Verankerungen <i>Recovery (5) / deployment (5) of moorings</i>	2.5
Auslesen von zwei PIES / <i>Readout of 2 PIES</i>	0.5
Unterwegsmessungen zwischen Stationen / <i>Underway measurements between stations</i>	10.9
Transit zum Hafen Mindelo (Kap Verde) <i>Transit to port Mindelo (Cape Verde)</i>	0.1
	Total 22
Einlaufen in Mindelo (Kap Verde) am 20.11.2019 <i>Arrival in Mindelo (Cabo Verde) 20.11.2019</i>	

Bordwetterwarte / Ship's meteorological Station

Operationelles Programm

Die Bordwetterwarte ist mit einem Meteorologen und einem Wetterfunktechniker des Deutschen Wetterdienstes (DWD Hamburg) besetzt.

Aufgaben

1. Beratungen.

Meteorologische Beratung von Fahrt- und Schiffsleitung sowie der wissenschaftlichen Gruppen und Fahrtteilnehmer. Auf Anforderung auch Berichte für andere Fahrzeuge, insbesondere im Rahmen internationaler Zusammenarbeit.

2. Meteorologische Beobachtungen und Messungen.

Kontinuierliche Messung, Aufbereitung und Archivierung meteorologischer Daten und Bereitstellung für die Fahrtteilnehmer. Aufnahme, Auswertung und Archivierung von meteorologischen Satellitenbildern.

Täglich sechs bis acht Wetterbeobachtungen zu den synoptischen Terminen und deren Weitergabe in das internationale Datennetz der Weltorganisation für Meteorologie (GTS, Global Telecommunication System).

Durchführung von Radiosondenaufstiegen zur Bestimmung der vertikalen Profile von Temperatur, Feuchte und Wind bis zu etwa 25 km Höhe. Im Rahmen des internationalen Programms ASAP (Automated Shipborne Aerological) werden die ausgewerteten Daten über Satellit in das GTS eingesteuert.

Operational Program

The ships meteorological station is staffed by a meteorologist and a meteorological radio operator of the Deutscher Wetterdienst (DWD Hamburg).

Duties:

1. Weather consultation.

Issuing daily weather forecasts for scientific and nautical management and for scientific groups. On request weather forecasts to other research craft, especially in the frame of international cooperation.

2. Meteorological observations and measurements.

Continuous measuring, processing, and archiving of meteorological data to make them available to participants of the cruise. Recording, processing, and storing of pictures from meteorological satellites.

Six to eight synoptic weather observations daily. Feeding these into the GTS (Global Telecommunication System) of the WMO (World Meteorological Organization) via satellite.

Rawinsonde soundings of the atmosphere up to about 25 km height. The processed data are inserted into the GTS via satellite within the frame of the international programme ASAP (Automated Shipborne Aerological Programme).

Beteiligte Institutionen / *Participating Institutions*

DWD

Deutscher Wetterdienst
Seeschiffahrtsberatung
Bernhard-Nocht-Straße 76
20359 Hamburg / Germany
Internet: www.dwd.de

GEOMAR

Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Düsternbrooker Weg 20
24105 Kiel / Germany
Internet: <http://www.geomar.de/>

GEOMAR

Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Wischhofstr. 1-3
24148 Kiel / Germany
Internet: <http://www.geomar.de>

INIPM

Instituto Nacional de Investigação Pesqueira e Marinha
Rua Mortala Mohamed, Ilha do Cabo
PO Box 260, Luanda / Angola

IOW

Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde
Seestraße 15
18119 Rostock / Germany
Internet: <https://www.io-warnemuende.de>

LDEO

Lamont Doherty Earth Observatory at Columbia University
61 Rt 9W Palisades, NY / USA

MARUM

Zentrum für Marine Umweltwissenschaften
Universität Bremen
Leobener Str. 8
28359 Bremen / Germany
Internet: <https://www.marum.de>

MFMR

Ministry of Fisheries and Marine Resources
Swakopmund / Namibia
Internet: <http://www.mfmr.gov.na>

NatMIRC

National Marine Information & Research Centre

Internet: <http://www.mfmr.gov.na>

Technische Universität Kaiserslautern

Fakultät Biologie, Dept. Ökologie

Erwin-Schrödinger Str. 14

67663 Kaiserslautern / Germany

Internet: <http://www.bio.uni-kl.de/ecology>

UVIGO

Universidade de Vigo

Facultade de Ciencias

Rúa das Abelleiras s/n

36310 Vigo / Spain

ULPGC

University of Las Palmas de Gran Canaria

Instituto de Oceanografía y Cambio Global

Campus Universitario de Tafira

Edificio de Ciencias Básicas

35017 Las Palmas de Gran Canaria / Spain

UFPE

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Arquitetura, s/n, 50740-550 - Cidade Universitária

Recife-PE / Brazil

Internet : <http://www.ufpe.br/docean/index.php>

UNAM

University of Namibia

P.O.Box 462

Hentjes Bay / Namibia

Internet: <http://www.unam.edu.na>

University of Cape Verde

School of Maritime Sciences, Sao Vicente (Ribeira Julião)

Mindelo / Cape Verde

Internet: <http://unicv.edu.cv>

Univ. Aveiro

Departamento de Biologia e CESAM

Campus de Santiago

Universidade de Aveiro

3810-193 Aveiro / Portugal

Das Forschungsschiff / *Research Vessel METEOR*

Das Forschungsschiff METEOR dient der weltweiten grundlagenbezogenen deutschen Hochsee-Forschung und der Zusammenarbeit mit anderen Staaten auf diesem Gebiet.

The research vessel METEOR is used for German basic ocean research world-wide and for cooperation with other nations in this field.

FS METEOR ist Eigentum der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister für Bildung und Forschung (BMBF), der auch den Bau des Schiffes finanziert hat.

The vessel is owned by the Federal Republic of Germany represented by the Ministry of Education and Research (BMBF), which also financed the construction of the vessel.

Das Schiff wird als 'Hilfseinrichtung der Forschung' von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) betrieben. Dabei wird sie von einem Beirat unterstützt.

The vessel is operated as an 'Auxiliary Research Facility' by the German Research Foundation (DFG). The DFG is assisted by an Advisory Board.

Das Schiff wird zu 70% von der DFG und zu 30% vom BMBF finanziert.

The vessel is financed to 70% by the DFG and to 30% by the BMBF.

Dem DFG Gutachterpanel Forschungsschiffe (GPF) obliegt die wissenschaftliche Begutachtung der Fahrtvorschläge, sie benennt die Fahrtleitung.

The reviewer panel of the DFG evaluates the scientific proposals and appoints the chief scientists.

Die Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe der Universität Hamburg ist für die wissenschaftlich-technische, logistische und finanzielle Vorbereitung, Abwicklung und Betreuung des Schiffsbetriebes verantwortlich. Sie arbeitet einerseits mit der Fahrtleitung partnerschaftlich zusammen, andererseits ist sie Partner der Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG.

The German Research Fleet Coordination Centre at the University of Hamburg is responsible for the scientific, technical, logistical and financial preparation and administration of the research vessel as well as for supervising the operation of the vessel. On one hand, it cooperates with the chief scientists on a partner-like basis and on the other hand it is the direct partner of the managing owners Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG.

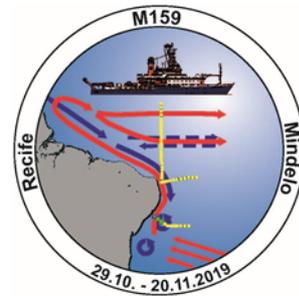


Research Vessel

METEOR

Reisen Nr. M156 – M159 / *Cruises No. M156 – M159*

03. 07. 2019 – 20. 11. 2019



REEBUS Role of Eddies in the Carbon Pump of Eastern Boundary Upwelling Systems,

The Benguela Upwelling System under climate change – Effects of variability in physical forcing on carbon and oxygen budgets, EVAR

TRATLEQ I

Trans-Atlantic Equatorial cruise I

Brazil Circulation and AMOC

Editor:

Institut für Geologie Universität Hamburg
Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Sponsored by:

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

ISSN 0935-9974