

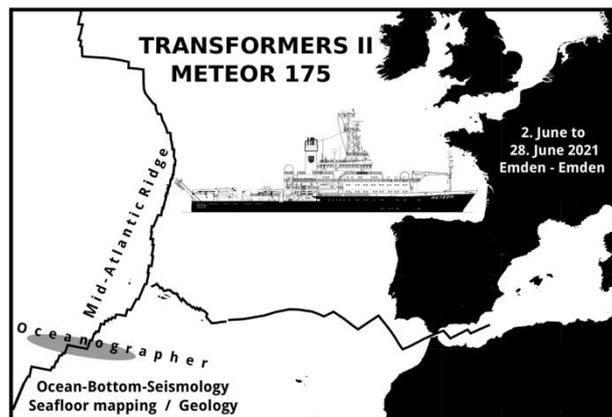


Forschungsschiff

METEOR

Reise Nr. M175

02.06.2021 - 28.06.2021



Geologische und geophysikalische Untersuchung von Transformverwerfungen am Mittelatlantischen Rücken bei 35°N (TRANSFORMERS II)

Herausgeber

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

Gefördert durch

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

ISSN 0935-9974

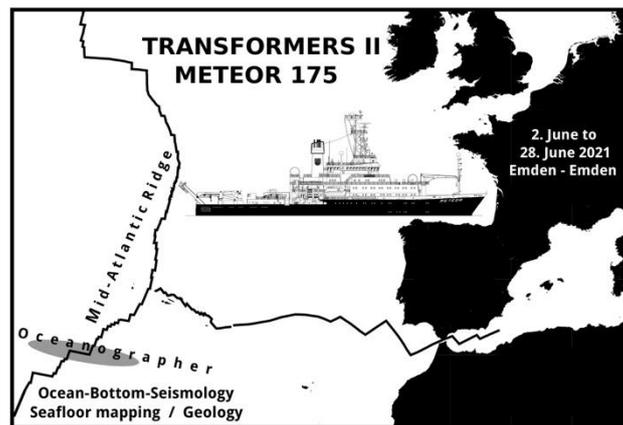


Forschungsschiff / *Research Vessel*

METEOR

Reise Nr./ *Cruise No.* M175

02.06.2021 - 28.06.2021



**Geologische und geophysikalische Untersuchung von
Transformverwerfungen am Mittelatlantischen Rücken bei 35°N
(TRANSFORMERS II)**

*Geological and geophysical characterization of transform offsets
(TRANSFORMERS II)*

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

Anschriften / *Addresses*

PD. Dr. Thor H. Hansteen

GEOMAR
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung
Wischhofstraße 1-3
D-24148 Kiel

Telefon: +49 0431 600-2130
Telefax: +49 0431 600-2922
e-mail: thansteen@geomar.de
http: www.geomar.de

Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe

Institut für Geologie
Universität Hamburg
Bundesstraße 55
D-20146 Hamburg

Telefon: +49 40 42838-3640
Telefax: +49 40 42838-4644
E-Mail: leitstelle.ldf@uni-hamburg.de
http: www.ldf.uni-hamburg.de

Reederei Briese

Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG
Research | Forschungsschifffahrt
Hafenstraße 6d (Haus Singapore)
D-26789 Leer

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

GPF-Geschäftsstelle

Gutachterpanel Forschungsschiffe
c/o Deutsche Forschungsgemeinschaft
Kennedyallee 40
D-53175 Bonn

E-Mail: gpf@dfg.de

METEOR Reise / *METEOR Cruises M175*

02.06.2021 - 28.06.2021

Geologische und geophysikalische Untersuchung von Transformverwerfungen bei 35°N
Geological and geophysical characterization of transform offsets, TRANSFORMERS II

Fahrt / Cruise M175	02.06.2021 - 28.06.2021 Emden (Germany) - Emden (Germany)
Fahrtleitung / <i>Chief Scientist:</i>	Prof. Dr. Thor H. Hansteen
Kapitän / <i>Master:</i>	Rainer Hammacher
Koordination / <i>Coordination:</i>	Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe <i>German Research Fleet Coordination Centre</i>

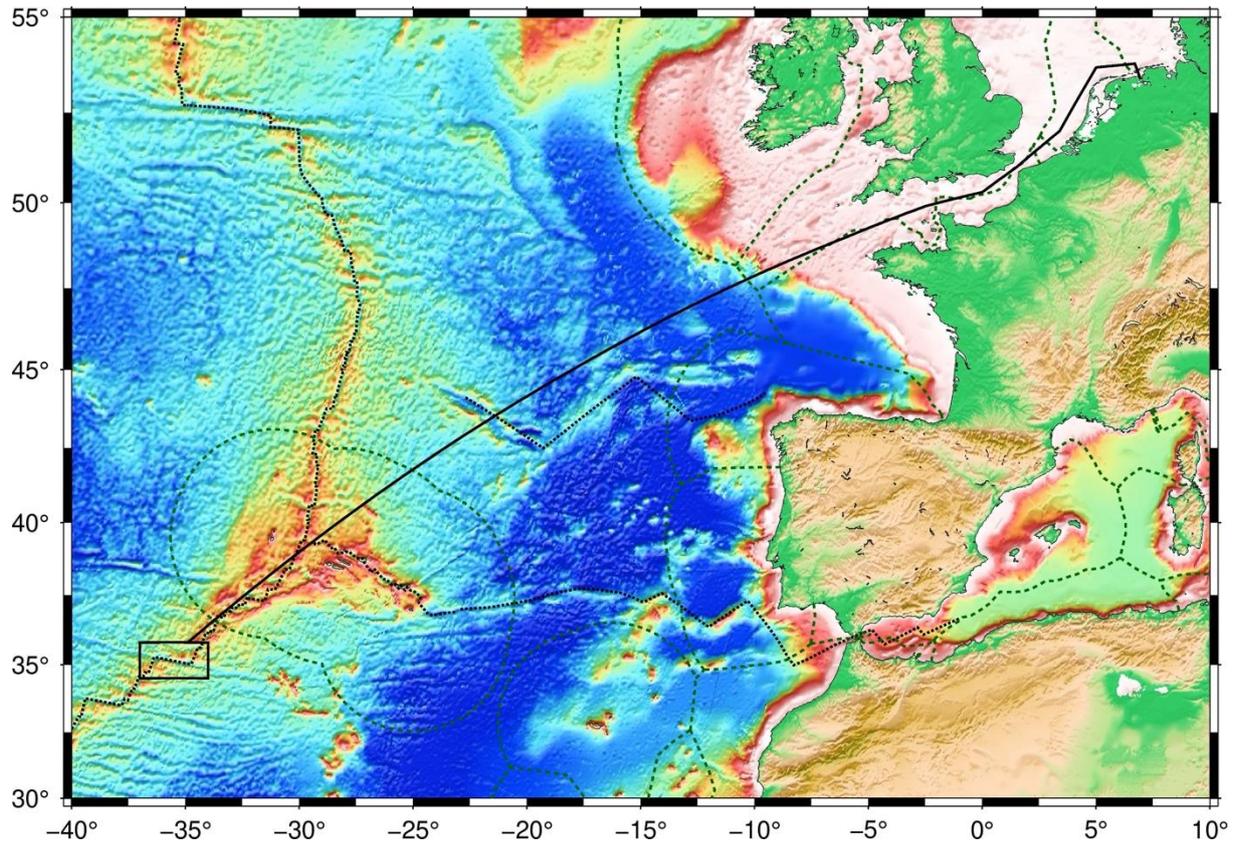


Abb. 1 Geplante Fahrtroute und Arbeitsgebiet der METEOR Expedition M175.

Fig. 1 Planned cruise track and working area of METEOR cruise M175.

Übersicht

Ozeanische Bruchzonen wurden bereits lange vor der Entwicklung der Plattentektonik in morphologischen Karten des Pazifischen Ozeans entdeckt. Nach der Einführung der Plattentektonik wurde erkannt, dass Bruchzonen den inaktiven Teil ozeanischer Transformverwerfungen abbilden, doch in den letzten Jahrzehnten fanden Bruchzonen und Transformstörungen wenig Beachtung. Am GEOMAR durchgeführte Untersuchungen implizieren, dass Transformverwerfungen – widersprüchlich zur Plattentektonik – keine konservativen Plattengrenzen darstellen; stattdessen deuten numerische Modellierungen darauf hin, dass Transformverwerfungen unterhalb der Blattverschiebungszone eine Region ausbilden, in der Extension dominiert. Darüber hinaus deuten bathymetrische Daten darauf hin, dass magmatische Prozesse an ihren Enden in einer zweiten Akkretionsphase neue Kruste generieren und somit die Transformzone magmatisch überprägen. Beide Hypothesen sollen durch die Aufnahme neuer Datensätze am Mittelatlantischen Rücken (MAR) zwischen 33°N und 36°N überprüft werden. Hierzu sollen in einer ersten Pilotstudie Erdbeben registriert werden, um das Spannungsfeld abzuleiten. Darüber hinaus sollen anhand bathymetrischer Daten sowie geologischer Beprobungen und Videobeobachtungen magmatische Prozesse evaluiert werden.

Synopsis

Fracture zones were recognized to be an integral part of the seabed long before plate tectonics was established. Later, plate tectonics linked fracture zones to oceanic transform faults, suggesting that they are the inactive and hence fossil trace of transforms. Yet, scientist spend little time surveying them in much detail. Recent evidence suggests that the traditional concept of transform faults as being conservative (non-accretionary) plate boundary faults might be wrong. Instead, numerical modelling results suggest that transform faults seem to suffer from extensional tectonics below their strike-slip surface fault zone and a global compilation of legacy bathymetric data suggest that ridge-transform intersections seem to be settings of magmatic activity, modifying the lithosphere and burying the transform valley before it passes into the fracture zone region. Here we like to test both hypotheses by collecting a suite of new data from transform faults offsetting the Mid-Atlantic Ridge (MAR) between 33°N and 36°N, including a pilot study revealing the state-of-stress derived from micro-earthquakes and bathymetric imagery as well as geological sampling and seafloor video observations to evaluate magmatic processes.

Wissenschaftliches Programm

Aktuelle Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass – im Widerspruch zur etablierten Theorie der Plattentektonik – ozeanische Transformstörungen keine sog. konservativen Plattengrenzen sind, sondern möglicherweise einen neuen Typ der Plattengrenze darstellen, der sowohl durch zwei Phasen der Krustengenese als auch durch eine zwischengeschaltete Phase tektonischer Dehnung charakterisiert ist. Dieses Modell basiert auf der Interpretation existierender bathymetrischer Daten sowie den Ergebnissen numerischer Modellrechnungen. Besonders zwei Schlüsselbeobachtungen sollten anhand neuer Daten überprüft werden.

(i) Aus Datenarchiven zusammengestellte bathymetrische Daten zeigen, dass die Wassertiefe entlang einer Transformverwerfung mit Abnahme der Spreizungsrate systematisch zunimmt, sodass die Täler der Transformstörungen entlang der langsam spreizenden Mittelozeanischen Rücken immer tiefer als die Transformtäler der schnell spreizenden Rücken sind. Numerische Simulationen ergeben, dass sowohl flache, spröde als auch tiefe, duktile Deformation mit zunehmender Tiefe von einer reinen Blattverschiebungszone abweichen und in eine schräge Dehnungsscherzone übergehen. Dieser Prozess fördert die Entwicklung tieferer Transformationstäler bei einer Abnahme der Spreizungsrate. Die mit diesem Prozess verbundene tektonische Dehnung sollte sich im Spannungsfeld widerspiegeln und somit sollten Herdflächenlösungen lokaler Erdbeben eine Dehnungstektonik nachzeichnen. Zusätzlich kann die Temperaturverteilung entlang der Transformstörung approximiert werden, da die maximale Tiefe von Mikroerdbeben bei ca. 600 °C liegt.

(ii) Desweiteren legen Beobachtungen nahe, dass Transformationstäler immer tiefer als die zugehörigen Bruchzonen sind. Dies deutet darauf hin, dass die Täler durch Transformstörungen eine Modifikation

Scientific Programme

Recent scientific efforts may suggest – contrary to the idealization of plate tectonics – that oceanic transform faults are not conservative plate boundaries, but that they are in fact shaped by two stages of magmatic accretion, separated by a tectonic phase stretching the transform valley while crust and lithosphere are moved along the transform fault. The main aim of the METEOR cruise is to test this hypothesis which was derived by revisiting seafloor morphology of transform faults and simulating transform fault behaviour using numerical modelling. Two key features associated with the new model can be tested using data to be collected in the proposed effort.

First, the compilation of bathymetric data shows evidence for a very deep transform valley that tend to deepen as spreading rate decreases. Numerical modelling indicates that brittle and ductile flow driven by a kinematic orthogonal strike-slip surface boundary condition will rapidly transition into an oblique extensional shear zone at depth. This extension nurtures the development of deep transform valleys. Thus, the extension should be reflected in the stress field along any transform fault, which can be revealed by focal mechanisms of micro-earthquakes along a transform offset. Further, temperatures along the transform can be assessed from the maximum depth of micro-earthquakes, which should reflect the 600°C isotherm. When compared to the depth of earthquakes at an adjacent normal spreading segment, it will yield unique constraints on the thermal state. Second, global observations show that transform valleys are always much deeper than the associated fracture zones, suggesting that transform valleys are buried before being converted to fracture zones. The burial of the transform valleys is supposed to be related to a second phase of magmatic activity as the plate moves along the RTI (ridge-transform-intersection), which can readily be identified

erfahren, bevor sie in eine Bruchzone 'umgewandelt' werden. Diese Abnahme der Wassertiefe ist möglicherweise durch eine zweite Phase magmatischer Aktivität, die vermutlich durch das benachbarte Spreizungssegment kontrolliert wird, bedingt. Hochauflösende bathymetrische Daten, die diese magmatische Phase nachweisen könnten, fehlen jedoch für die meisten Transformstörungen, da die vorhandenen Daten generell 20 bis 40 Jahre alt sind und seit den 1980er Jahren nur wenige geologische Probenahmen stattgefunden haben. Der mittellatlantische Rücken zwischen 33°N und 36°N wird von den zwei wichtigen Hayes- und Oceanographer-Transformstörungen, die Längen von 120 und 140 km aufweisen, unterbrochen. Diese sind hervorragend geeignet, um die oben beschriebenen Hypothesen zu überprüfen. Sie wurden zum Teil während der abgebrochenen M170-Reise, die früher in diesem Jahr stattfand, kartiert.

Die Aufzeichnung von Mikroerdbeben entlang der Oceanographer-Transformstörung wurde während der M170-Reise begonnen und bietet die Möglichkeit, Unterschiede im Verhalten vom Mikroerdbeben und großen tektonischen Erdbeben zu untersuchen. Diese Arbeiten dienen des Weiteren als Referenz zur Seismizität entlang der Transformstörung. Ebenfalls sollen detaillierte Abbildungen des Meeresbodens und Gesteinsproben dazu verwendet werden, die magmatische Aktivität und die Änderung des Spannungsfelds (Struktur und Orientierung von Störungszonen und Verwerfungen) zu evaluieren.

Hauptziele der Arbeiten sind:

1. Kartierung mit dem schiffseigenen EM122-Fächerecholot zur Untersuchung der Detailstruktur und des Rücken-Transformüberganges der 140 km langen Oceanographer-Transformstörung (MAR 35 bis 36°N). Lässt sich eine zeitabhängige Variabilität der Akkretion beobachten, indem die Täler der Bruchzonen kartiert werden?

in seafloor imagery and seafloor geology. However, high-resolution data supporting active magmatic activity at RTIs are generally lacking as most existing data were acquired 20 to 40 years ago and detailed sampling of transform systems has not been carried out since the 1980s.

The Mid-Atlantic Ridge between 33°N and 36°N hosts the two major, 120-140 km long Hayes and Oceanographer transform faults, suitable to test the hypothesis discussed above. They were partly mapped during the broken-off M170 cruise earlier this year. A micro-earthquake survey of the Oceanographer transform fault which was started during the M170 cruise will provide the unique chance to study the relationship between the slip of large earthquakes and the depth-distribution of smaller micro-earthquakes. Micro-earthquakes recorded along a transform fault can reveal the state of stress along the plate boundary, and detailed seafloor imagery and sampling can be used to assess the magmatic activity at RTIs and how the stress field (fault structure and orientation) changes when approaching a ridge crest discontinuity.

Major objectives are:

1. *Mapping the structure of ridge-crest-discontinuities and the detailed morphology of the 140 km long Oceanographer transform fault (MAR 35 to 36°N) using the ship-board EM122 swath-mapping system. Can we observe a time-dependent variability of accretion by mapping the near ridge fracture zone valleys?*

2. Registrierung von Kleinsterdbeben für die Abbildung ihrer Tiefenverteilung sowie Bestimmung von Herdflächenlösungen zur Untersuchung des lokalen Spannungsfeldes. Unterschiede in der Tiefenverteilung zum Referenznetzwerk würden auf Unterschiede im thermischen Zustand hinweisen.

3. Charakterisierung der magmatischen Aktivität im Übergang zwischen Spreizungsachse und Transformstörung (OFOS Videokartierung).

4. Charakterisierung der Lithologie entlang der Transformverwerfung und im Übergang zur Spreizungsachse sowie entlang der inaktiven Bruchzone mittels Dredgen.

5. Möglicher Nachweis jungen Vulkanismus (erneute Aktivität) entlang der Transformschultern mittels einer Kombination von Kartierung, Videoaufnahmen und anschließendem Dredgen.

6. Erkundung hydrothermalen Aktivität (visuell) durch physikalische Trübung und Temperaturanomalien (MAPR; Miniature Autonomous Plume Recorder).

2. Micro-earthquake survey of the Oceanographer transform fault, revealing depth distribution of micro-earthquakes and their relationship to the fabric of the transform. Focal mechanisms will reveal the stress field and if the ridge offset is under extension. Any profound deviation of the depth of micro-earthquakes when compared to a reference site will yield differences in the thermal state between both settings.

3. Characterizing magmatic activity at the adjacent spreading segments, at the RTI and at the inside (IC) and outside corner (OC) of the RTI using the towed-camera OFOS system.

4. Characterizing the lithology at RTI, IC (inside corner) and OC (outside corner) and along the fracture zone using dredging.

5. Detecting possibly young (second-stage) volcanism along the transform shoulders using a combination of mapping and OFOS followed by dredging.

6. Revealing hydrothermal activity using video observations and MAPR (Miniature Autonomous Plume Recorder) deployed with the video system.

Arbeitsprogramm

Das Arbeitsgebiet liegt am Mittelatlantischen Rücken zwischen 33°N und 36°N. Zuerst soll ein seismisches Netzwerk mit 18 Ozeanbodenseismometern, das während der M170 früher in diesem Jahr entlang der Oceanographer-Transformstörung ausgelegt wurde, geborgen werden, um die lokale Seismizität in einer Pilotstudie aufzuzeichnen.

Im Anschluss daran wird eine regionale Kartierung mit dem schiffseigenen Fächerecholot EM122 durchgeführt, um die Übergänge zwischen den Rückensegmenten und dem Transformtal an der Oceanographer-Transformstörung zu erkunden. Weiterhin sollen die Schulterbereiche der Transformstörung sowie der gesamte Talbereich kartiert werden.

Basierend auf den Ergebnissen der Kartierung werden Lokalitäten für detaillierte Videoprofile ausgewählt, die sowohl vom Transformtal auf den morphologischen Schultern als auch entlang topographischer Höhenzüge im Transformtal verlaufen. Diese Höhenzüge könnten möglicherweise Bereiche hydrothermalen Aktivität anzeigen. Durch eine Kombination des tiefgeschleppten mini-OFOS (Ocean Floor Observationssystem) und des MAPR wird zeitgleich nach hydrothermalen Aktivität gesucht.

Für viele Bereiche entlang der Transformschultern, die IC- und OC-Gebiete und besondere Bereiche innerhalb des Transformtals sind gezielte, durch Kartierungen und Videoaufzeichnungen unterstützte geologische Beprobungen geplant.

Nach drei bis vier OFOS-Einsätzen (à 6 Stunden) an benachbarten Standorten sollen vier bis sieben Dredgezüge (je von ca. 4 Stunden Dauer) durchgeführt werden.

Diese Sequenz soll mehrfach wiederholt werden. Eine zusätzliche Beprobung soll an

Work Programme

The working area is at the Mid-Atlantic Ridge in the Central Atlantic between 33° and 36°N. We will recover a network of 18 ocean-bottom-seismometers deployed during M170 earlier this year, used to register micro-earthquakes along the Oceanographer transform fault.

Thereafter, a swath mapping campaign will use the hull-mounted EM122 to map the transition areas between the ridge and the transform valley at the Oceanographer transform fault. Further, the transform valley crests and shoulders and the entire valley structure will be mapped.

Based on the mapping, we will choose targets for detailed video profiles both across the transform valley onto the valley shoulders, and also along topographical highs in the valley possibly representing hydrothermal vents areas, using a deep-tow mini-OFOS (Ocean Floor Observations system) to capture high-resolution videos. During the deployments of the OFOS we will use MAPR to search for hydrothermal activity.

Profiles shall image the transition of the spreading centre into the transform offset, the inside corner domain, the outside corner domain (incl. fracture zone) and the transform zone. Geological sampling guided by the swath-mapping and OFOS video deployments are planned for several areas along the transform shoulders, the IC and OC domains, and at selected locations inside the transform valley.

Following 3-4 OFOS deployments (à 6 h), at closely spaced locations, 4-6 dredge hauls (each lasting ~4 h) will be performed.

This sequence will be repeated as time allows. Further, additional sampling at sites possibly

Lokalitäten durchgeführt werden, die möglicherweise junge (erneute) vulkanische Aktivität an den Transformschultern zeigen (12-14 Stunden). Diese Lokalitäten können erst durch eine detaillierte Kartierung und zusätzliche morphologische Analysen identifiziert werden.

Die M175-Reise ist dafür konzipiert, einzigartige Erkenntnisse über die Prozesse, die die Tektonik und den Vulkanismus von Transformverwerfungen kontrollieren, zu liefern.

showing young transform-crest volcanism identified by the detailed mapping will be performed (12-14 h).

M175 is designed to provide new and unique constraints on the processes governing oceanic transform faults.

	Tage/days
Auslaufen von Emden (Deutschland) am 02.06.2021 <i>Departure from Emden (Germany) 02.06.2021</i>	
Transit zum Arbeitsgebiet / <i>Transit to working area</i>	9
Regionale Kartierung der Transformverwerfungen und des MAR <i>Regional mapping of transform faults and the Mid-Atlantic Ridge</i>	4
Probennahme im Bereich zweier Transformverwerfungen <i>Sampling of hard rocks (dredging) along two transform faults</i>	3
Videobeobachtungen entlang der Transformverwerfungen <i>Sub-bottom video coverage along the two transform offsets</i>	1
Bergung von 18 OBS/H von der Transformverwerfung <i>Recovery of 18 OBS from short-offset transform fault</i>	1
Transit zum Hafen Emden <i>Transit to port Emden</i>	8
	Total 26
Einlaufen in Emden (Deutschland) am 28.06.2021 <i>Arrival in Emden (Germany) 28.06.2021</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*

GEOMAR

GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung
Marine Geodynamik
Wischhofstraße 1-3
D-24148 Kiel / Germany
www.geomar.de

DWD

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

Das Forschungsschiff / *Research Vessel METEOR*

Das Forschungsschiff „METEOR“ dient der weltweiten, grundlagenbezogenen Hochseeforschung Deutschlands und der Zusammenarbeit mit anderen Staaten auf diesem Gebiet.

The research vessel “METEOR” is used for German world-wide marine scientific research and the cooperation with other nations in this field.

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

R/V “METEOR” 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. Der Schiffsbetrieb wird zu 70% von der DFG und zu 30% vom BMBF finanziert.

The vessel is operated as an 'Auxiliary Research Facility' by the German Research Foundation (DFG). The DFG is assisted by an Advisory Board. The operation of the vessel is financed to 70% by the DFG and to 30% by the BMBF.

Dem Gutachterpanel Forschungsschiffe (GPF) obliegt die Begutachtung der wissenschaftlichen Fahrtanträge. Nach positiver Begutachtung können diese in die Fahrplanung aufgenommen werden.

The Review Panel German Research Vessels (GPF) reviews the scientific cruise proposals. GPF-approved projects are suspect to enter the cruise schedule.

Die Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe (LDF) der Universität Hamburg ist für die wissenschaftlich-technische, logistische und finanzielle Vorbereitung, Abwicklung und Betreuung des Schiffsbetriebes zuständig.

The German Research Fleet Coordination Centre (LDF) at the University of Hamburg is responsible for the scientific-technical, logistical and financial preparation, handling and supervision of the vessels operation.

Einerseits arbeitet die LDF partnerschaftlich mit der Fahrtleitung zusammen, andererseits ist sie Partner und Auftraggeber der Reederei Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG.

On a partner-like basis the LDF cooperates with the chief scientists and the managing owner Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG.

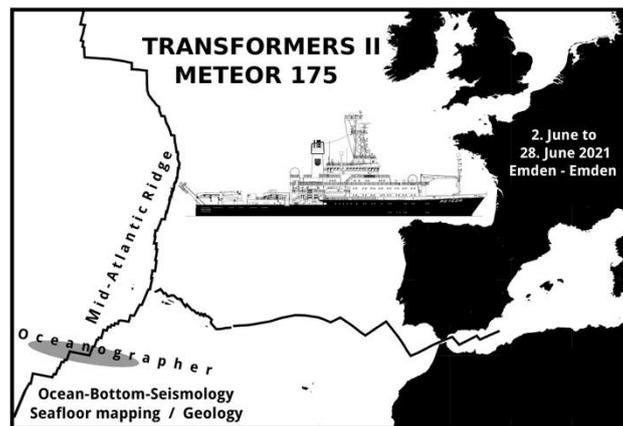


Research Vessel

METEOR

Cruise No. M175

02.06.2021 - 28.06.2021



Geological and geophysical characterization of transform offsets,
TRANSFORMERS II

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