

Abschlussbericht

WTZ Zentralasien CARIMA – Leitantrag

*Natural versus anthropogenic controls of past monsoon variability in
Central Asia recorded in marine archives (CARIMA)*

ZE: MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen

Förderkennzeichen: 03G0806A

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2011 – 31.8.2014

Projektleitung: Prof. Dr. Michael Schulz

1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms

Die Untersuchungen tragen zum BMBF-Rahmenprogramm „Forschung und nachhaltige Entwicklungen im Bereich der Erdsystemforschung“ und zu den Forschungsschwerpunkten „Ozeanzirkulation und Klimadynamik“, „Stoffkreisläufe im Erdsystem“ und „Dynamische Erdsystemmodellierung“ in der Schlüsselregion Zentralasien bei.

2. Wissenschaftliches Ergebnis des Vorhabens

Das Projekt verfolgte das Ziel, großskalige Umweltveränderungen an Land anhand mariner Sedimentkerne zu rekonstruieren und durch den Vergleich mit Modellergebnissen natürliche und anthropogene Antriebsmechanismen zu unterscheiden. Besondere Schwerpunkte lagen auf dem Wandel der Monsunintensität, sowie auf Änderungen der Vegetation. Dabei wurden Variationen im Holozän, sowie in früheren Interglazialen auf saisonalen bis multidekadischen Zeitskalen in zwei Arbeitspaketen untersucht. Die beiden Arbeitspakete basierten auf einem vergleichbaren Methodenspektrum und unterschieden sich hauptsächlich im Hinblick auf die Arbeitsgebiete. Auf diese Weise konnten im Hinblick auf die übergeordneten Fragestellungen maximale Synergieeffekte erzielt werden. Speziell wurden folgende Kernergebnisse erzielt:

- Für das Arabische Meer und den Golf von Bengalen wurden Methoden weiter entwickelt und erfolgreich getestet. Anhand der Wasserstoffisotopie von Pflanzenwachsen wurde z.B. der Niederschlag über Land rekonstruiert. Die Entwicklung des Niederschlags im Holozän stimmt im Hinterland des Golfs von Bengalen mit Modellbefunden überein. Die Landbedeckung/-nutzung kann anhand der Zusammensetzung der organischen Substanz rekonstruiert werden. Gegenwärtig wird die Auflösung der Zeitreihen verbessert und die Arbeiten werden auf das Südchinesische Meer erweitert.

- Im Arabischen Meer konnte anhand neu entwickelter Verwitterungsproxys belegt werden, dass bei einer Monsunabschwächung, wie vor ca. 3.800 Jahren, die Verwitterung an Land signifikant abnimmt. Dies hat Implikationen für die potentielle Änderung der zukünftigen Verwitterung, die gegenwärtig weiter untersucht wird. Weder im Arabischen Meer noch im Golf von Bengalen konnte auf Zeitskalen von mehreren Jahrhunderten bzw. während der letzten Dekaden eine signifikante Änderung in der Sturmhäufigkeit festgestellt werden.
- Im nördlichen Südchinesischen Meer wurden im Rahmen einer Expedition mit dem Forschungsschiff SONNE mehrere Sedimentkerne erbohrt, die nach einer ersten Analyse bis ca. 500.000 Jahre vor Heute (MIS-13) zurückreichen. Die Reichweite und die Qualität dieser Sedimentkerne haben die ursprünglichen Erwartungen weit übertroffen.
- Die Rekonstruktion des Meeresoberflächensalzgehalts im nördlichen Südchinesischen Meer zeigt abnehmende Salzgehalte von etwa 8.000 Jahre bis heute. Diese deuten auf eine Abnahme im Abfluss des Pearl Rivers im Zuge eines sich abschwächenden Sommermonsuns hin. Als Antwort auf die höhere Sonneneinstrahlung in Modellsimulationen für 4.000, 6.000 und 8.000 Jahre vor Heute nahmen die Regenfälle während des südasiatischen Monsuns zu, was sich in einer Erhöhung des Niederschlags im Jahresmittel um ~1 mm/Tag ausdrückte. Feuchte Luft, die verstärkt vom Meer herangeführt wurde, sowie ein verstärkter lokaler Wasserkreislauf trugen zu diesen positiven Niederschlagsanomalien bei.

Im Rahmen des Projekts wurden Kooperationen mit der Tongji University und der Tianjin University vertieft. Auf chinesischer Seite wurde das Probenmaterial von mehreren Personen bearbeitet und eine Promotionsstelle speziell für Arbeiten in CARIMA finanziert.

Abschlussbericht

WTZ Zentralasien CARIMA – Teilprojekt 2.1

„Pearl River Abfluss – natürliche Variabilität“

als Teil des Arbeitspaketes 2

„Südchinesisches Meer und Golf von Bengalen“

ZE: MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen

Förderkennzeichen: 03G0806A

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2012 – 31.8.2014

Projektleitung: Dr. Mahyar Mohtadi, Prof. Dr. Dierk Hebbeln, Dr. Tilmann Schwenk, Prof. Dr. Volkhard Spieß, Dr. Stephan Steinke

I. Kurze Darstellung

I.1 Aufgabenstellung:

Das Hauptziel dieses Teilvorhabens war es, die natürliche Variabilität des Pearl River-Abflusses während der Interglaziale als Anzeiger für die Intensität des Sommermonsunniederschlages zu rekonstruieren. Dieses Ziel sollte anhand von Salzgehaltsrekonstruktionen im nördlichen Südchinesischen Meer erreicht werden. Dazu sollten vorhandene Sedimentkernarchive (Holozän) und Sedimentkerne (frühere Glaziale) untersucht werden, die während der FS Sonne Expedition SO-221 INVERS – Interglaziale Veränderungen des Ostasiatischen Sommermonsuns“ (17.05.12 bis 07.06.2012) gewonnen wurden.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde:

Die Voraussetzungen der im Rahmen des Teilprojektes 2.1 durchgeführten wissenschaftlichen Arbeiten waren:

- Finanzierung einer Postdoktorandenstelle (12 Monate, Frau Dr. Luisa Palamenghi, Seismik, 01.05.2012-30.04.2013) und einer Doktorandenstelle (umgewandelt in eine Postdoktorandenstelle, 14 Monate, Herr Dr. Stephan Steinke; Paläozeanographie, 01.01.2012-28.02.2013) und Hilfswissenschaftlerstellen am MARUM durch das BMBF;

- Finanzierung der Schiffs- und Transportkosten der FS Sonne Expedition SO-221 „INVERS“ sowie des Einsatzes des Bremer Meeresbodenbohrgerätes (MeBo) durch das BMBF;
- Bereitstellung von Infrastruktur, Bohr- und anderen Probenentnahme- sowie Messgeräten durch das MARUM;
- Zusammenarbeit mit unseren nationalen (Hamburg, Tübingen) und internationalen (Tongji University Shanghai) Kooperationspartnern.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens:

Da die FS Sonne Expedition „INVERS - „Interglaziale Veränderungen des Ostasiatischen Sommermonsuns“ bereits ein Jahr früher als im ursprünglichen Antrag geplant durchgeführt werden konnte, konzentrierten sich die Arbeiten und Untersuchungen in Teilprojekt 2.1. im Wesentlichen auf die Bearbeitung und Auswertung des Kernmaterials und der seismo-akustischen Daten der SO-221 Expedition. Während der Expedition SO-221 konnten insgesamt 374 m Sediment in zwei Arbeitsgebieten am oberen Kontinentalhang des nördlichen Südchinesischen Meeres gewonnen werden (Mohtadi et al. 2012). Zudem wurden etwa 700 km seismo-akustische Daten aufgezeichnet (Mohtadi et al. 2012). Die wissenschaftlichen Arbeiten im Projektzeitraum umfassten die Korrelation und stratigraphische Einstufung der MeBo-Bohrungen und der Schwerelotkerne, erste Salzgehaltsabschätzungen im nördlichen Südchinesischen Meer nach Mg/Ca- und Sauerstoffisotopenmessungen an Planktischen Foraminiferen und die Auswertung der seismo-akustischen Daten (siehe II.1).

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde:

Es ergaben sich keine Änderungen bezüglich des wissenschaftlich-technischen Standes gegenüber dem ursprünglichen Antrag.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Eine enge Zusammenarbeit und ein regelmäßiger wissenschaftlicher Austausch fand mit unseren chinesischen Projektpartnern der Tongji Universität statt. Es nahmen u.a. 4 Wissenschaftler der Tongji Universität an der SO-221 Expedition teil und das während dieser Expedition gewonnene Kernmaterial wurde vom 08.04.2013 bis

12.04.2013 am MARUM in Bremen zusammen mit unseren Projektpartnern von der Tongji Universität Shanghai beprobt. Palynologische Untersuchungen am Kernmaterial der Expedition SO-221 werden im Rahmen einer Doktorarbeit von Zhongjing Cheng (State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, China) durchgeführt. Zudem wurden tonmineralogische Untersuchungen in Zusammenarbeit mit Prof. Jianguo Liu (South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou, China) durchgeführt, der für ein Jahr als Stipendiat am MARUM tätig war. Die Salzgehaltsrekonstruktionen (Stephan Steinke, MARUM Bremen) und die palynologischen Untersuchungen (Zhongjing Cheng, Tongji Universität) werden gegenwärtig auf frühere Interglaziale ausgeweitet und durch organisch-geochemische Untersuchungen (δD von Alkanen), die von Jingjing Liu und Yunru Chen (Doktorandinnen am State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai) im Rahmen eines viermonatigen Aufenthaltes am MARUM durchgeführt werden vervollständigt. Eine enge Zusammenarbeit bestand mit Prof. Michal Kucera (Teilprojekt 1.2) bezüglich zweier Studienabschlussarbeiten, die die Erhaltung von Planktonforaminiferen (Oehms, 2014) bzw. das Aussterbeereignis der Planktonforaminiferenart *G. ruber* (pink) (Jacobi, 2014) untersuchten. Beide Arbeiten nutzen dabei Kernmaterial aus der Expedition SO-221.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und Projektergebnisse:

Im Projektzeitraum konzentrierten sich die wissenschaftlichen Arbeiten im Wesentlichen auf folgende Tätigkeitsschwerpunkte:

Korrelation der MeBo Bohrungen GeoB16602-5, GeoB16602-5 und GeoB16602-8 und stratigraphische Einstufung

Die Korrelation (Erstellen eines „Composite Records“) der drei MeBo Einzel- bzw. Parallelbohrungen der Station GeoB16602 wurde mittels XRF-(Röntgenfluoreszenz)-Sedimentkernscanner-Daten durchgeführt (Abb. 1). Die Alterseinstufung der Sedimente der Station 16602 beruht auf der Sauerstoffisotopenstratigraphie. Dazu wurden etwa 1100 Sedimentproben (in 8 cm Auflösung) entnommen, aus denen benthische und planktische Foraminiferen für stabile Isotopenmessungen ausgelesen wurden. Für ein erstes Altersmodell wurde die Sauerstoffisotopenkurve der planktischen Art *G. ruber* (weiss) herangezogen (Abb. 2). Die Alterseinstufung

hat gezeigt, dass Sedimente bis zurück ins Marine Isotopenstadium (MIS) 13 (etwa 500,000 Jahre v.h.) erbohrt werden konnten und somit eines der Hauptziele des Teilprojektes 2.1., die Erbohrung von Sedimentabfolgen früherer Interglaziale (MIS 5, 7, 9, 11 und 13), erreicht wurde.

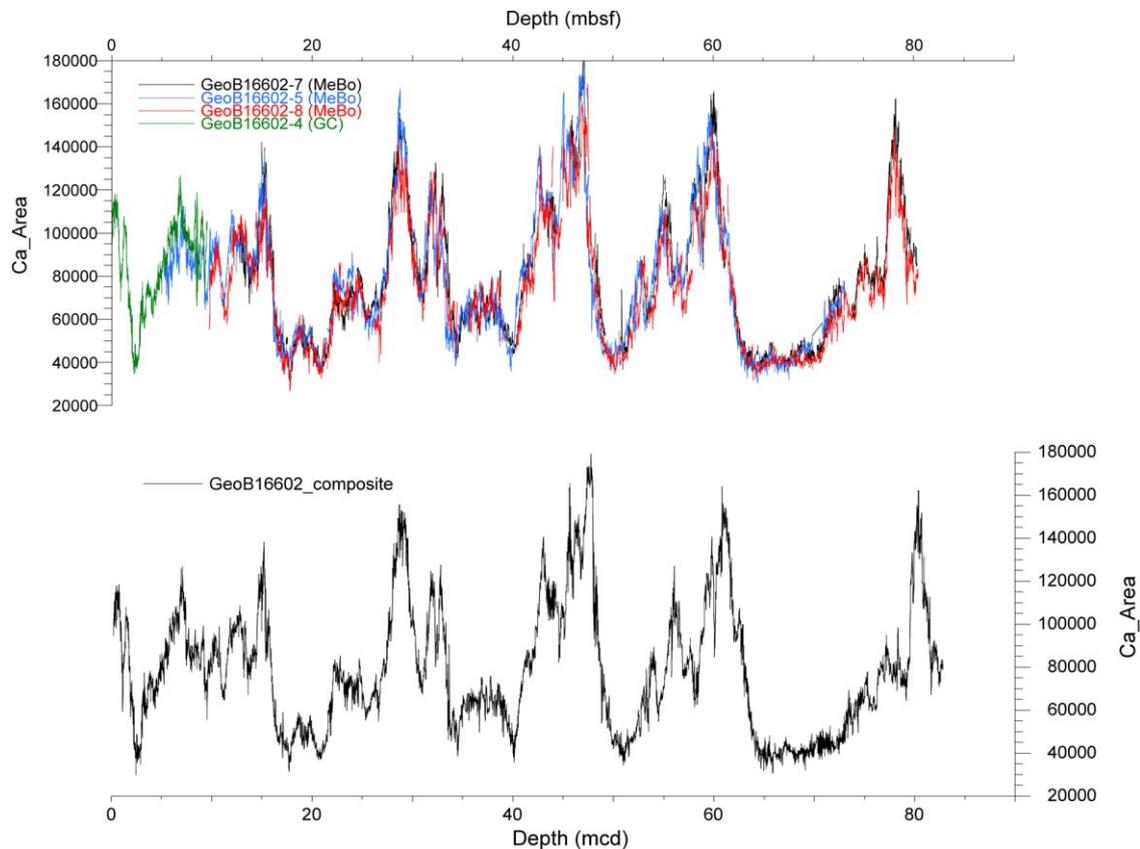


Abb.1: Korrelation der drei an der Station GeoB16602 mit MeBo erbohrten Sedimentkerne über XRF-Kernscannerdaten. Die zusammengesetzte Sedimentsequenz deckt die obersten 80 m der Sedimentsäule lückenlos ab.

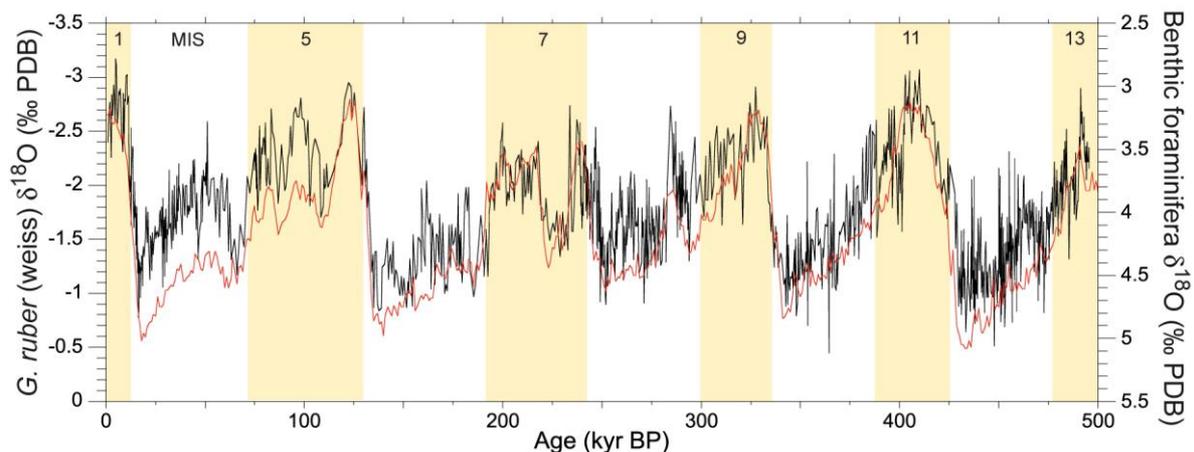


Abb. 2: Altersmodell der zusammengesetzten Sedimentsequenz an der Station GeoB16602 basierend auf der Korrelation der *G. ruber* (weiss) Sauerstoffisotopenkurve (schwarz) zur globalen benthischen Standardkurve (Lisiecki

& Raymo, 2005; rot). Das Altersmodell der oberen 5.85 m der Sedimentabfolge basiert auf AMS ¹⁴C-Datierungen.

Stratigraphische Einstufung der Schwerlotkerne GeoB16601-6, GeoB16602-4 und GeoB16603-1, palynologische und sedimentologische Untersuchungen

Für das Schwerlot-Kernmaterial der Stationen GeoB16601-6 (Arbeitsgebiet 1), GeoB16602-4 und GeoB16603-1 (Arbeitsgebiet 2) der SO-221 Expedition wurden Altersmodelle anhand von Radiokarbondatierungen und Sauerstoffisotopenprofile erstellt. Die Alters-/Tiefenmodelle zeigen, dass in beiden Arbeitsgebieten Sedimente der letzten 60,000 Jahre bzw. 80,000 Jahre gewonnen werden konnten. Geochemische Elementverhältnisse deuten auf unterschiedliche Sedimentationsbedingungen in den beiden Arbeitsgebieten während des letzten Glazials hin. Während Arbeitsgebiet 2 durch einen erhöhten terrigenen Eintrag während des letzten Glazials im Vergleich zum Holozän gekennzeichnet ist, ist der terrigen-klastische Eintrag im Arbeitsgebiet 1 deutlich niedriger. Palynologische und tonmineralogische Untersuchungen an diesen Sedimentkernen deuten auf veränderte Quell- bzw. Sedimentliefergebiete und Transportwege/-prozesse im Übergang von glazial zu Interglazial. Die Auswertung erster Pollenprofile des Schwerlotkernes im Arbeitsgebiet 2 ergab deutliche Unterschiede im Vergleich zu bereits publizierten Studien aus dem Arbeitsgebiet 1. Anders als für unser Teilprojekt vorgeschlagen wurde, wurden unsere Untersuchungen um tonmineralogische Untersuchungen erweitert, um Rückschlüsse auf Sedimentliefergebiete und Transportprozesse ziehen zu können. Die Ergebnisse der Tonmineraluntersuchungen zeigen, dass die Sedimentkerne beider Arbeitsgebiete eine nahezu identische Tonmineralzusammensetzung für das Holozän aufweisen, wohingegen die glazialen Ablagerungen deutliche Unterschiede in der Tonmineralzusammensetzung aufweisen. Die bisherigen palynologischen und tonmineralogischen Untersuchungen zeigen, dass der glaziale Sedimenteintrag der Arbeitsgebiete unterschiedlichen Liefergebieten entstammt.

Rekonstruktion der Meeresoberflächenwassertemperatur (SST) und –salzgehalt im nördlichen Südchinesischen Meer für die letzten 80000 Jahre

Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Seewasser}}$ (=Proxy für Salzgehalt) Abschätzungen an der Station GeoB16602 zeigen niedrigere Salzgehalte im Letzten Glazialen Maximum (LGM) im Vergleich

zum Spät-Holozän. Die niedrigeren Salzgehalte zum LGM sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass während der Trockenlegung des nördlichen Schelfs während des letzten glazialen Meeresspiegeltiefstandes der Paläo-„Pearl River“ näher zur Station GeoN16602 entwässerte. Abnehmende Salzgehalte von etwa 8000 Jahre bis heute deuten auf eine Abnahme im Abfluss des Pearl Rivers im Zuge eines sich abschwächenden Sommermonsuns hin.

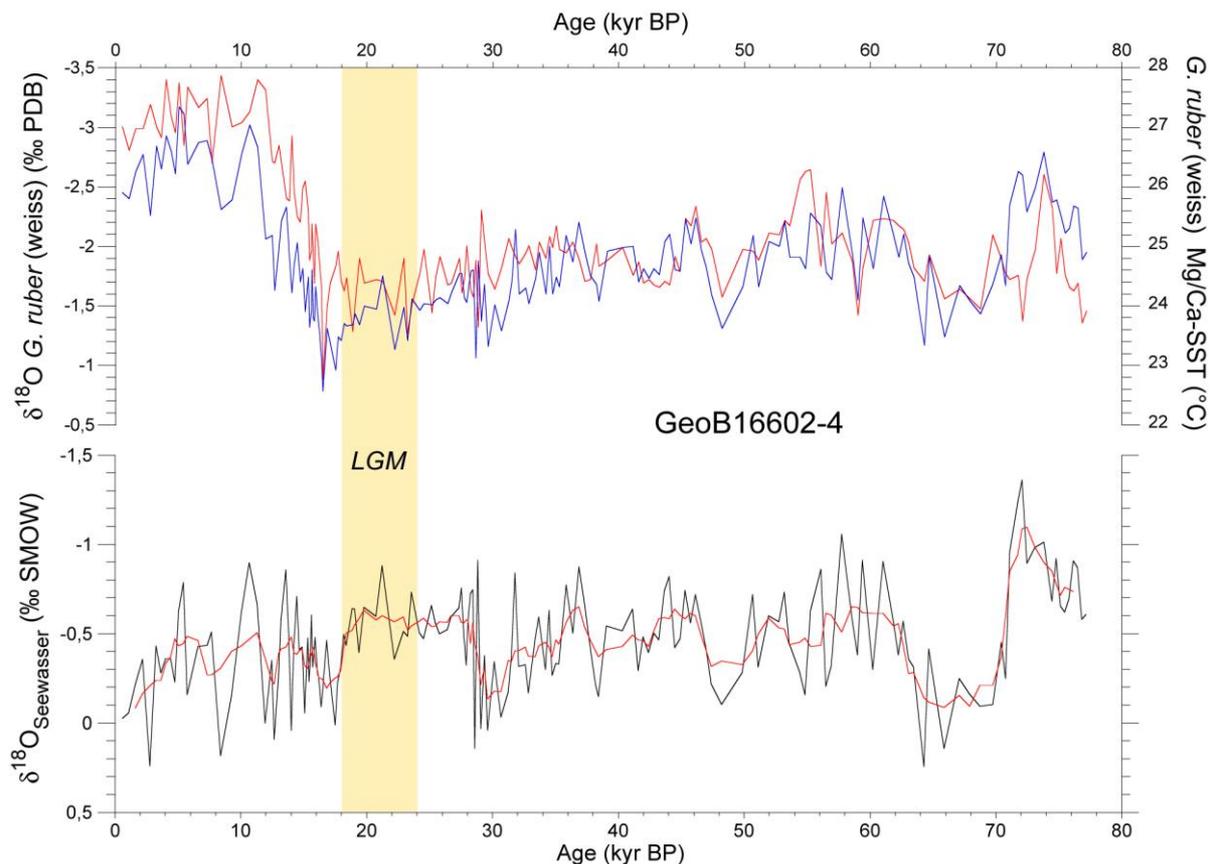


Abb. 3: $\delta^{18}\text{O}_{\text{Seewasser}}$ (=Proxy für Salzgehalt) Abschätzungen an der Station GeoB16602 (schwarz). Sauerstoffisotopenkurve (blau) und Mg/Ca-Temperaturabschätzungen nach *G. ruber* (weiss)(rot).

Seismo-stratigraphische Auswertung

Die seismo-stratigraphische Auswertung des Arbeitsgebietes 2 („Pearl River Mouth Basin“) lieferte interessante neue Erkenntnisse zur Sedimentationsgeschichte am Kontinentalhang des nördlichen Südchinesischen Meeres: Paläogene bis miozäne „Syn-Riff“ Sedimente wurden durch vulkanische Intrusionen während des Unter- und Mittelmiozäns stark deformiert. An den vulkanischen Komplexen wurden karbonatische Sedimente abgelagert, die faziell einem transgressiven-regressiven

Schelf-Karbonatrampen-Komplex zuzuordnen sind. Das Ablagerungsmilieu im Arbeitsgebiet ist seit dem Obermiozän durch eine Wechsellagerung von hemipelagischen mit turbiditischen und kontouritischen Ablagerungen gekennzeichnet (Palamenghi et al., akzeptiert; Geo-Marine Letters).

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises:

Der zahlenmäßige Nachweis wird separat bis zum 28.02.2015 übermittelt.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit:

Die stratigraphische Einstufung des gewonnenen Kernmaterials bildet das Grundgerüst für alle weiterführenden Untersuchungen. Es hat sich aber gezeigt, dass ein deutlich höherer Zeitaufwand und Personalbedarf notwendig ist, um die bis zu 70 m langen Doppel- und Dreifachbohrungen an einer Station zu verarbeiten. Die Korrelation der einzelnen MeBo Bohrungen und die stratigraphische Einstufung waren deutlich zweiaufwendiger als erwartet. Im Rahmen dieses Projektes mussten etwa 1200 Sedimentproben allein von der Station 16602 verarbeitet werden, um eine stratigraphische Einstufung vornehmen zu können. Eine Korrelation der MeBo Bohrungen GeoB16601-1 und GeoB16601-7 und die stratigraphische Einstufung sollen nach Ablauf des Teilprojekts durchgeführt werden. Die Auswertung der INVERS-Sedimentkerne wird auch nach Ablauf dieses Teilprojektes fortgeführt (siehe auch I.5).

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans:

Bei dem hier dargestellten Projekt handelt es sich um Grundlagenforschung ohne wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten. Die Ergebnisse aus diesem Projekt werden der Allgemeinheit nach Veröffentlichung in internationalen Fachzeitschriften über die PANGAEA-Datenbank zur Verfügung gestellt.

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen:

Es sind keine neuen Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse:

Veröffentlichungen

- Mohtadi, M. und Fahrtteilnehmer (2012). Report and preliminary results of RV Sonne Cruise SO 221. INVERS. Hong Kong – Hong Kong, 17.05.2012 – 07.06.2012. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 288, ISSN 0931-0800.
- Freudenthal, T., Wefer, G. (2013). Drilling cores on the sea floor with the remote-controlled sea floor drillrig MeBo. *Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems*, 2, 329-337.
- Luisa Palamenghi, Hanno Keil, Volkhard Spiess (akzeptiert). Sequence Stratigraphic framework in a mixed turbidite-contourite depositional system along the NW slope of the South China Sea. *Geo-Marine Letters*.

Studienabschlussarbeiten die Material der RV Sonne Expedition SO-221 benutzt haben:

- Lara Jacobi (2014). Das Aussterbeereignis der *Globigerinoides ruber* (pink) im Südchinesischen Meer. Bachelorarbeit im Studiengang Geowissenschaften, Universität Bremen.
- Mareike Oehms (2014). Das Überlieferungspotential von Schalen der planktonischen Foraminiferenart *Hastigerina pelagica* in pelagischen Sedimenten. Masterarbeit im Studiengang Geowissenschaften, Universität Bremen.

Es sind Publikationen bezüglich der Entwicklung des asiatischen Monsuns in früheren Warmzeiten geplant. Dazu sollen die Proxy-Daten (Salzgehaltsrekonstruktionen, palynologische und organisch-geochemische Untersuchungen) mit den Ergebnissen von Klimamodellen verglichen werden. Zudem sind weitere Publikationen basierend auf den tonmineralogischen und palynologischen Befunden mit unseren chinesischen Projektpartnern geplant.

Abschlussbericht

WTZ Zentralasien CARIMA – Teilprojekt 2.3

Hochaufgelöste Modellierung des Wasser- und Isotopenkreislaufs im Bereich des asiatischen Monsuns

als Teil des Arbeitspaketes 2

„Südchinesisches Meer und Golf von Bengalen“

ZE: MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen

Förderkennzeichen: 03G0806A

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2011 – 31.8.2014

Projektleitung: Dr. Matthias Prange, Dr. André Paul, Prof. Dr. Michael Schulz

I. Kurze Darstellung

I.1 Aufgabenstellung:

Es wurden numerische Experimente mit einem atmosphärischen allgemeinen Zirkulationsmodell (Atmospheric General Circulation Model; AGCM) durchgeführt, das den Wasserisotopenzyklus mitberechnet. Die Experimente sollten Einblicke in die physikalischen Prozesse von langfristigen Klimaveränderungen in Zentral- und Südostasien liefern und zur Interpretation von in anderen Teilprojekten, aus marinen Sedimentkernen gewonnenen Proxy-Daten dienen. Die Implementierung des Wasserisotopenkreislaufs in das Modell eröffnete die Möglichkeit eines quantitativen Modell-Daten-Vergleichs im Rahmen dieses Projekts.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde:

Im Rahmen des Teilprojekts konnte auf die vorhandene Expertise der AG Geosystem-Modellierung an der Universität Bremen im Bereich der Klima- und Isotopenmodellierung zurückgegriffen werden. Das Community Climate System Model (CCSM; Collins et al., 2006) und seine Teilkomponenten – wie das Community Atmosphere Model (CAM) und sein Ableger IsoCAM (siehe unten) – werden seit vielen Jahren in der AG zur Untersuchung paläoklimatologischer Fragestellungen verwendet. Zur Durchführung der AGCM-Experimente waren

Antriebsfelder für Meeresoberflächentemperatur und Meereisverteilung für verschiedene Zeitpunkte im Holozän nötig, die aus vorangegangenen transienten Holozän-Läufen mit dem voll gekoppelten CCSM (aber ohne Isotope) gewonnen wurden (siehe unten). Für die aufwändigen Simulationen steht der AG neben dem Höchstleistungsrechner des HLRN (Norddeutscher Verbund für Hoch- und Höchstleistungsrechnen) auch ein eigener Linux-Cluster zu Verfügung.

Für das Teilprojekt 2.3 standen Mittel zur Besetzung einer Wissenschaftlerstelle für den Zeitraum von 18 Monaten zur Verfügung.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens:

Die Modellieraktivitäten sollten erst einige Monate nach Beginn des Gesamtprojektes starten, um auf erste Analysen von Sedimentkernen zu warten.

Niedrig- und mittel-bis-hochauflösende AGCM-Simulationen mit Wasserisotopen wurden durchgeführt, um den Einfluss veränderter Erdbahnparameter auf die asiatische Monsunvariabilität während des Holozäns zu untersuchen. Die ursprünglich geplanten hochaufgelösten (T170, $\sim 0.7^\circ$ Auflösung in der Horizontalen) AGCM-Simulationen wurden verworfen, da die von Projektpartnern geplanten Rekonstruktionen von tropischen Zyklonen nicht erfolgreich durchgeführt werden konnten und die notwendigen Vergleichsdaten somit fehlten. Stattdessen wurde eine ganze Serie von niedrig aufgelösten T31- ($\sim 3.75^\circ$ Auflösung in der Horizontalen) Zeitscheibenexperimenten für die Holozän-Periode von 8 ka v. h. (ka v. h. = 1000 Jahre vor heute) bis heute durchgeführt, deren Ergebnisse mit Isotopen-Daten aus Pflanzenwachsen zusammengeführt werden konnten. Die Simulation des mittleren Holozäns (Tharammal et al., in Begutachtung) wurde mit Wasserstoffisotopendaten aus terrestrischen Pflanzenwachsen in Zusammenarbeit mit CARIMA-Teilprojekt 2.2 verglichen (Contreras-Rosales et al., 2014). Zusätzlich wurde der Einfluss der horizontalen Auflösung des AGCM auf die Ergebnisse untersucht. Hierzu wurden zwei Experimente mit mittel-bis-hochaufgelöstem T85-Gitter ($\sim 1.4^\circ$ in der Horizontalen) durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die großräumigen Niederschlags- und Isotopenmuster sehr ähnlich der T31-Simulation sind, aber auch, dass die T85-Auflösung den Effekt von lokaler Orografie (z.B. Himalaya und Tibet-Plateau) besser darstellen kann, was mit erheblichen Verbesserungen von Modell-Daten-Vergleichen einhergehen kann.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde:

Das verwendete Modell IsoCAM (Noone und Sturm, 2010) basiert auf dem NCAR (National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado) CAM3.0 (Community Atmosphere Model, Version 3.0). Die Isotopenphysik folgt der Formulierung von Noone und Simmonds (2002) mit Ergänzungen von Noone und Sturm (2010), die einer genaueren Darstellung der Konvektionsprozesse in den Wolken dienen. Das Modell erfasst den gesamten Globus und kann in verschiedenen horizontalen Auflösungen eingerichtet werden.

In technischer Hinsicht war das Modell betriebsbereit, es musste allerdings auf die lokale Rechnerarchitektur portiert werden. Außerdem mussten Antriebsdaten (Meeresoberflächentemperatur, Meereiskonzentration) aufbereitet und interpoliert werden. Analyse-Software zur Untersuchung der Modellergebnisse musste zum Teil noch entwickelt werden.

Die verwendete Fachliteratur ist in der Literaturliste (siehe unten) angegeben.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Eine enge Kooperation fand mit dem IsoCAM-Entwickler Prof. D. Noone (Univ. Colorado, Boulder) sowie Modellentwicklern am NCAR statt. Hinsichtlich des Modell-Daten-Vergleichs wurde eng mit Teilprojekt 2.2 zusammengearbeitet. Austausch mit anderen Projektpartnern fand bei regelmäßigen CARIMA-Treffen statt.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und Projektergebnisse:

Wie ursprünglich geplant lief das Teilprojekt verzögert erst 2012 an, da die datenorientierten Teilprojekte zunächst Vorarbeiten leisten mussten. Für die Modellierung wurde eine Postdoktorandin eingestellt. Zur Speicherung der angefallenen großen Datenmengen aus den Computersimulationen wurde ein Archivierungssystem beschafft und erfolgreich in Betrieb genommen.

1. Niedrig aufgelöste Zeitscheiben-Simulationen des Holozäns

Modell-Setup und Experimente

Eine Serie von Simulationen für die Zeitscheiben 0 ka v. h. (vorindustriell), 2 ka v. h., 4 ka v. h., 6 ka v. h. und 8 ka v. h. wurde durchgeführt, um den Einfluss holozäner Klimaveränderungen auf die Isotopenverteilung im Niederschlag über Zentral- und

Südostasien zu untersuchen und die modellierten Isotopenverteilungen mit δD -Werten aus holozänen Pflanzenwachsen in Zusammenhang zu setzen. Das Ziel war eine quantitative Niederschlagsrekonstruktion. Die Simulationen wurden mit dem CAM3.0 (Community Atmosphere Model, Version 3.0) durchgeführt, einem „state-of-the-art“ AGCM, das u.a. auch den Transport und Niederschlag von Wasserisotopen berechnet (diese Version des CAM3.0 heißt IsoCAM, Noone und Sturm, 2010). Das Modell wurde zunächst mit einer horizontalen Auflösung von $\sim 3.75^\circ$ bei 26 Schichten in der Vertikalen konfiguriert. Das gekoppelte Landoberflächenmodell (Community Land Model Version 3; CLM3.0) lief mit derselben horizontalen Auflösung. Das Modell wurde am unteren Rand mit vorgeschriebenen Meeresoberflächentemperatur- und Meereisverteilungen angetrieben, die einer voll gekoppelten transienten Simulation des Holozäns (von 9 ka v. h. bis heute) mit dem CCSM3 (Community Climate System Model Version 3) entstammten (Varma et al., 2012). Die IsoCAM-Zeitscheibensimulationen wurden jeweils für 50 Jahre integriert, wobei das Mittel der jeweils 40 letzten Jahre zur Analyse der Klimazustände und Isotopenverteilungen verwendet wurde.

Proxy-Daten (Contreras-Rosales et al., 2014)

Verbindungsspezifische Wasserstoffisotopenverhältnisse in *n*-Alkanen (δD_{alk}) wurden an dem Sedimentkern SO188-342KL (19.9733° N, 90.0338° E, Wassertiefe 1265 m) gemessen und verwendet, um δD -Werte im Niederschlag (δD_{precip}) zu rekonstruieren. Jeweils fünf δD_{precip} -Datenpunkte wurden in einer Umgebung der Zeitpunkte 2 ka v. h., 4 ka v. h., 6 ka v. h. and 8 ka v. h. gemittelt, um einen Vergleich mit den Modellergebnissen durchzuführen. Hingegen wurde für 0 ka v. h. nur ein Datenpunkt – der δD_{precip} -Wert für die Sedimentoberfläche – verwendet. Anomalien der Proxy-Daten bezogen auf den Oberflächenwert ($-42 \text{ ‰} \pm 10 \text{ ‰}$) wurden mit IsoCAM-Anomalien im Jahresmittel für die entsprechenden Zeitscheiben bezogen auf die Simulation des heutigen Klimazustands (0 ka v. h.) verglichen. Für den Daten-Modell-Vergleich wurde ein Gebiet (25° N bis 30° N und 80° E bis 100° E, rotes Rechteck in Abb. 2) definiert, um die flächengewichteten Mittelwerte für den simulierten Niederschlag und δD_{precip} zu berechnen. Das Gebiet umschließt die Einzugsgebiete von Ganges und Brahmaputra und eignet sich für die Analyse des Niederschlags unter dem Einfluss des Himalayas und des Tibet-Plateaus.

Vorläufige Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im IsoCAM stellte sich ein Klima ein, das dem im gekoppelten CCSM3 (Varma et al., 2012) sehr ähnlich war, besonders im Hinblick auf die Niederschlags- und Oberflächentemperaturmuster. Allerdings lieferte das IsoCAM in den Monsungebieten Niederschläge, die systematisch zu hoch ausfielen. Zudem lagen im Jahresmittel die δD_{precip} -Werte für das Ganges-Brahmaputra-Einzugsgebiet um 10 ‰ to 15 ‰ unter den Werten, die aus den Proxy-Daten für den Niederschlag zu den gleichen Zeitpunkten (0 ka v. h., 4 ka v. h., 6 ka v. h. und 8 ka v. h.) abgeleitet wurden (Contreras-Rosales et al., 2014). Möglicherweise war es gerade der zu hohe Monsunniederschlag über diesem Gebiet, der im Modell zu einer vermehrten Abreicherung des Wasserisotops HDO im Niederschlag durch den Mengeneffekt beitrug.

Als Antwort auf die höhere Sonneneinstrahlung in den 4-ka-, 6-ka- und 8-ka-Simulationen nahmen die Regenfälle während des südasiatischen Monsuns zu, was sich in einer Erhöhung des Niederschlags im Jahresmittel um $\sim 1 \text{ mm d}^{-1}$ ausdrückte. Feuchte Luft, die verstärkt vom Meer herangeführt wurde, sowie ein verstärkter lokaler Wasserkreislauf trugen zu diesen positiven Niederschlagsanomalien bei.

Im Vergleich zur 0-ka-Simulation wurde in den 4-ka-, 6-ka- and 8-ka-Simulationen über dem Ganges-Brahmaputra-Einzugsgebiet ein isotopisch stärker abgereicherter Niederschlag simuliert, was auf den Mengeneffekt hinweist. Eine vorläufige Analyse der Vertikalgeschwindigkeit im Jahresmittel auf der 500-hPa-Isobaren zeigte insbesondere in den 4-ka- und 6-ka-Simulationen eine Zunahme der Konvektion über dem Land (über dem Nordosten des indischen Subkontinents und dem nördlichen Golf von Bengalen), die für die Veränderungen in der Isotopenzusammensetzung des Niederschlags verantwortlich sein könnte.

Die aus den Proxy-Daten abgeleiteten Werte für δD_{precip} (Teilprojekt 2.2) liefern die größten negativen Anomalien für 8 ka v. h. und 6 ka v. h. mit einem Minimum um 8 ka v. h., während die modellierten Anomalien den größten negativen Wert für 6 ka v. h. ergaben, gefolgt von dem Wert für 4 ka v. h. (Abb. 1). Mit Ausnahme der 2-ka-Simulation führen die Proxy-Daten und die Modellergebnisse zu δD_{precip} -Anomalien über dem Ganges-Brahmaputra-Einzugsgebiet, die auf den heutigen Zustand bezogen durchweg negativ sind. Diese Übereinstimmung ermutigt zu einem weitergehenden Daten-Modell-Vergleich des Niederschlags und seiner isotopischen Zusammensetzung.

2. Hochauflösende Simulationen für 0 ka v. h. und 8 ka v. h.

Zwei numerische Experimente wurden für 0 ka v. h. und 8 ka v. h. in der höheren T85-Auflösung durchgeführt. Die Randbedingungen entsprachen denen für die jeweiligen Simulationen in der T31-Auflösung: Die Antriebsfelder für die Meeresoberflächentemperatur und die Meereisverteilung wurden vom T31-Gitter auf das T85-Gitter interpoliert. Die Gesamtlaufzeit betrug wiederum jeweils 50 Modelljahre, wobei die letzten 40 Modelljahre für die Auswertung herangezogen wurden.

Die großräumigen Muster des globalen Wasserkreislaufs ähnelten sich in den T31- und T85-Simulationen für die beiden Zeitscheiben 0 ka v. h. und 8 ka v. h. Ein Vergleich der 0-ka-Simulationen mit Beobachtungen (Climate Prediction Center merged analysis of precipitation – CMAP) zeigt, dass die T85-Auflösung gegenüber der T31-Auflösung die Niederschlagsverteilung über dem indischen Subkontinent und dem Einzugsgebiet von Ganges und Brahmaputra im Norden des Golfs von Bengalen besser wiedergibt, was in erster Linie auf die bessere Darstellung der lokalen Orografie zurückzuführen ist. Dieser Befund stimmt überein mit der Untersuchung von Hack et al. (2006), die der Empfindlichkeit des CAM3.0 gegenüber einer Verfeinerung der horizontalen Auflösung von T42 auf T85 nachgeht und zu dem Schluss kommt, dass mit wachsender horizontaler Auflösung systematische Verbesserungen einhergehen, zum Beispiel im Hinblick auf die Windschubspannung in Küstennähe und den Niederschlag in den Monsungebieten. Diese Verbesserungen stehen im engen Zusammenhang mit der Dynamik der großskaligen Zirkulation (s. a. Meehl et al., 2006).

Nicht nur in der Niederschlagsverteilung, sondern auch in der δD_{precip} -Verteilung über dem Himalaya zeigt die T85-Auflösung gegenüber der T31-Auflösung eine Verbesserung beim Vergleich der beiden 0-ka-Simulationen mit Beobachtungen (Bowen et al., 2003). Die 8-ka-Simulation in der höheren Auflösung führte gegenüber der 0-ka-Simulation zu einer gleichförmigen Abnahme von δD_{precip} über dem Einzugsgebiet, was im Einklang mit dem erhöhten Niederschlag steht (Abb. 2). Die mittlere Anomalie über dem Einzugsgebiet betrug in der T85-Auflösung -7.3 ‰ und kam der rekonstruierten Anomalie von -10 ‰ deutlich näher als die mittlere Anomalie in der T31-Auflösung von nur -3.7 ‰ . Wir gehen davon aus, dass eine wirklichkeitsnähere Darstellung der Topografie und der atmosphärischen Zirkulation

zu Verbesserungen in der simulierten Niederschlagsverteilung und – im Zusammenhang damit – der Verteilung des Isotopengehalts im Niederschlag führten.

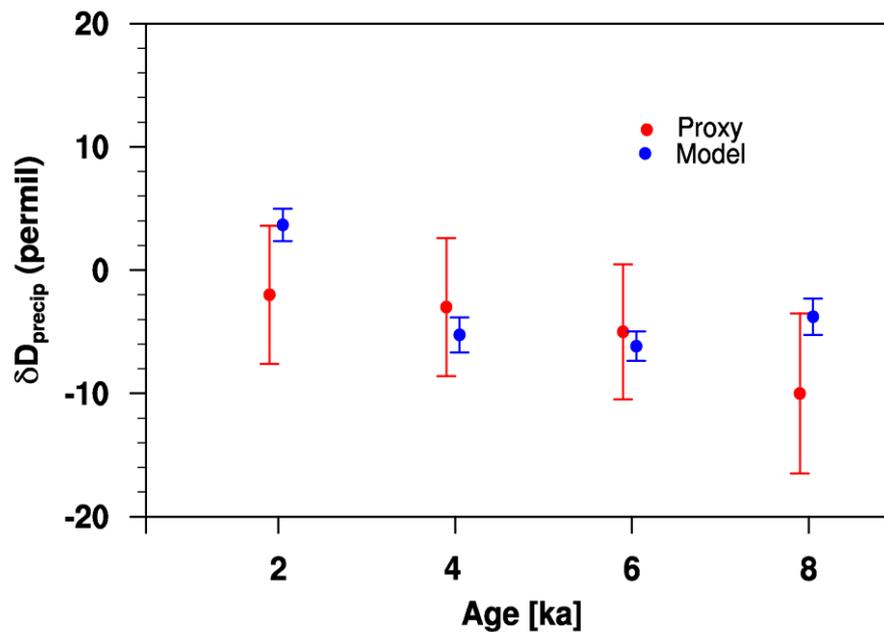
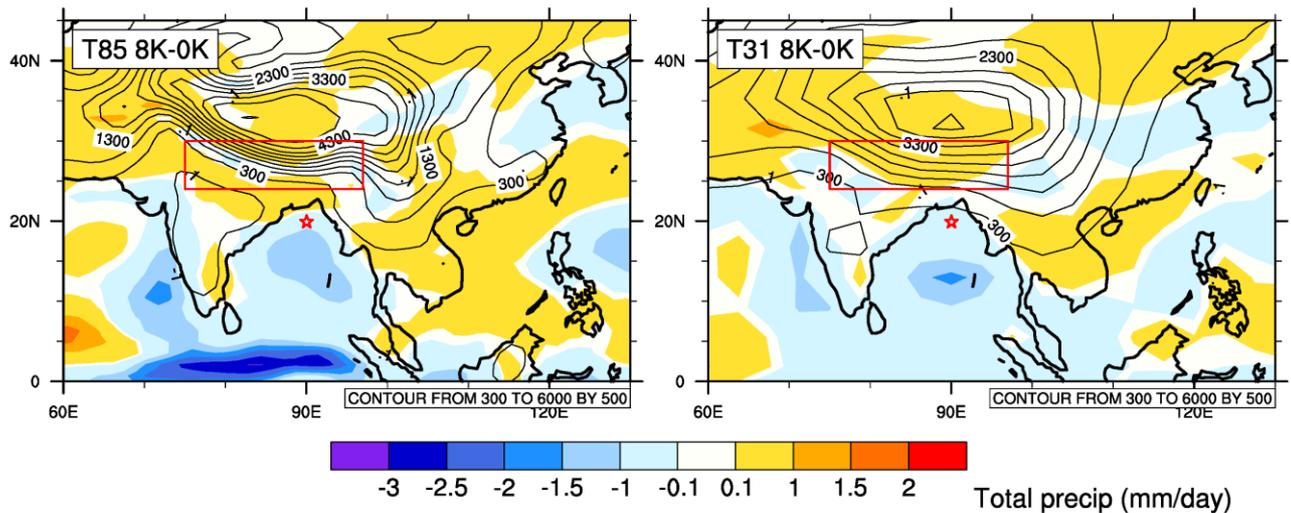


Abb. 1: Anomalien (relativ zu heute) des δD_{precip} aus den IsoCAM (T31-Auflösung) Zeitscheiben-Simulationen (gemittelt über das Einzugsgebiet 25°N-30°N, 80°E-100°E) sowie aus den n-Alkanen des marinen Sedimentkerns SO188-342KL (nördlicher Golf von Bengalen; Contreras-Rosales et al., 2014). Die angezeigten Fehlerbalken beschreiben die Unsicherheit der Proxy-Daten bzw. die interne Variabilität des Modells (Standardfehler).

(a)



(b)

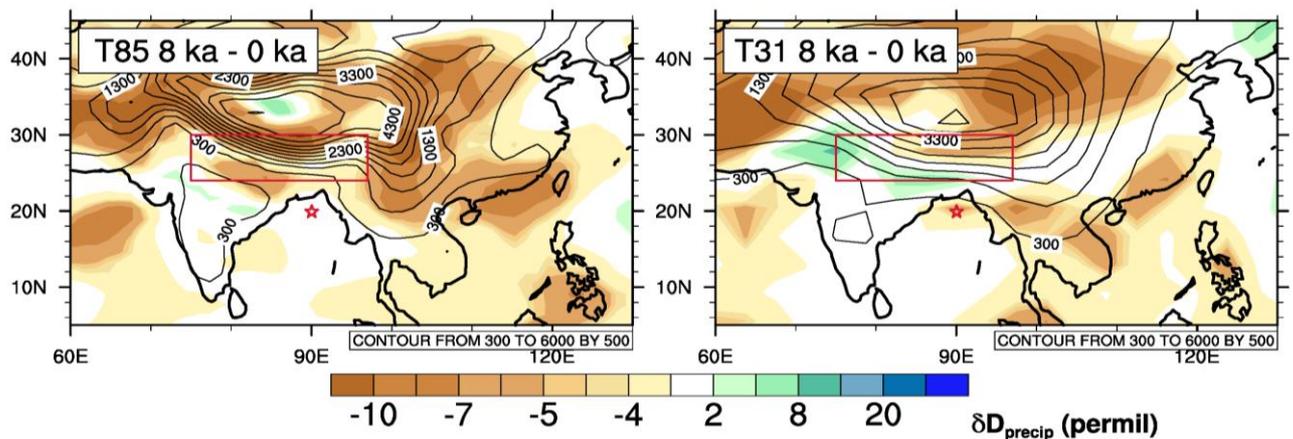


Abb. 2: IsoCAM-Ergebnisse aus den T85- und T31-Simulationen. (a) Anomalien der Jahresmittelniederschläge (mm pro Tag) aus der 8-ka-Zeitscheibe relativ zu heute. (b) Anomalien der sommerlichen Wasserstoff-Isotopenniederschlagsverteilung (δD_{precip}) aus der 8-ka-Zeitscheibe relativ zu heute. Die dünnen Konturlinien zeigen die Modelltopografien (abhängig von der Gitterauflösung) an (in Metern).

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises:

Der zahlenmäßige Nachweis wird separat bis zum 28.02.2015 übermittelt.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit:

Die Synthese von Modellergebnissen mit Proxy-Daten bzgl. Isotopenverteilungen besitzt das Potenzial, quantitative Aussagen über natürliche

Niederschlagsschwankungen in der Vergangenheit zu machen. Im Rahmen dieses Projekts konnte ein wichtiger Schritt in diese Richtung getan werden. Die quantitative Abschätzung natürlicher Klimaschwankungen ist von herausragender Bedeutung für die Bewertung des anthropogenen Einflusses auf das Monsunsystem. Der in diesem Projekt entstandene zusätzliche Personalaufwand wäre ohne die Zuwendungen des BMBF nicht leistbar gewesen.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans:

Beim hier dargestellten Projekt handelt es sich um Grundlagenforschung ohne wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten. Die Ergebnisse aus diesem Projekt (Modelldaten) werden der Allgemeinheit über die PANGAEA-Datenbank zur Verfügung gestellt.

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen:

Die Weiterentwicklung von Klimamodellen ist ein fortschreitender Prozess. Eine neue Version des CCSM (CESM; Community Earth System Model) steht seit kurzem zur Verfügung. Hinsichtlich der Anwendung dieses Modells oder anderer Klimamodelle auf die Fragestellungen dieses Teilprojekts ist nichts bekannt.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse:

Erfolgte Veröffentlichungen von Ergebnissen aus diesem Projekt sind in der Literaturliste (siehe unten) angegeben. Zusätzlich ist eine weitere Publikation bezüglich der holozänen Entwicklung des asiatischen Monsuns geplant, in der die Serie von Simulationen in T31- und T85-Auflösung analysiert und mit Proxy-Daten verglichen werden soll.

Literaturliste: (CARIMA-Publikationen fett gedruckt)

- Bowen G. J., Revenaugh, J.: Interpolating the isotopic composition of modern meteoric precipitation, *Water Resources Research*, 39(10), 1299, 2003.
- Collins, W. D., et al.: The Community Climate System Model Version 3 (CCSM3). *J. Climate*, 19, 2122–2143, 2006.
- **Contreras-Rosales, L. A., Jennerjahn, T., Tharammal, T., Meyer, V.,**

Lückge, A., Paul, A., Schefuß, E.: Evolution of the Indian Summer Monsoon and terrestrial vegetation in the Bengal region during the past 18 ka, Quaternary Science Reviews, 102, 133-148, 2014.

- Hack, J. J., Caron, J. M., Danabasoglu, G., Oleson, K. W., Bitz, C., Truesdale, J.: CCSM–CAM3 climate simulation sensitivity to changes in horizontal resolution, *J. Climate*, 19, 2267–2289, 2006.
- Meehl, G. A., Arblaster, J. A., Lawrence, D. M., Seth, A., Schneider, E. K., Kirtman, B. P., Min, D.: Monsoon regimes in the CCSM3, *J. Climate*, 19, 2482–2495, 2006.
- Noone, D., I. Simmonds: Associations between d18O of Water and Climate Parameters in a Simulation of Atmospheric Circulation for 1979-95, *J. Climate*, 15(22), 3150-3169, 2002.
- Noone, D., Sturm, C.: Comprehensive dynamical models of global and regional water isotope distributions. In: West, J., G. Bowen, T. Dawson and K. Tu (eds.) *Isoscapes: Understanding movement, patterns, and process on Earth through isotope mapping*, Springer, 487pp, 2010.
- **Tharammal, T., Paul, A., Collins, J.A., Merkel, U., Mulitza, S.: Hydrogen isotopes of meteoric water in Africa: modeling and comparison to data, Quaternary Science Reviews (in Begutachtung).**
- Varma, V., M. Prange, U. Merkel, T. Kleinen, G. Lohmann, M. Pfeiffer, H. Renssen, A. Wagner, S. Wagner, M. Schulz, 2012: Holocene evolution of the Southern Hemisphere westerly winds in transient simulations with global climate models. *Climate of the Past*, 8, 391-402, doi:10.5194/cp-8-391-2012.

Abschlussbericht

WTZ Zentralasien CARIMA – Teilprojekt 2.4

„Golf von Bengalen - Sedimenttransport und Zyklonaktivität“

als Teil des Arbeitspaketes 2

„Südchinesisches Meer und Golf von Bengalen“

ZE: MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen

Förderkennzeichen: 03G0806A

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2011 – 31.8.2014

Projektleitung: Dr. Hermann Kudrass, Dr. Tilmann Schwenk, Prof. Dr. Volkhard Spieß

I. Kurze Darstellung

I.1 Aufgabenstellung:

Das Gesamtziel dieses Teilprojektes war die Untersuchung der Zyklonaktivität im Golf von Bengalen in der näheren Vergangenheit, die an Hand von gradierten Abfolgen in vier Sedimentkernen aus einem Schelfcanyon („Swatch of No Ground“) offshore Bangladesch erfasst werden sollten.

I.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde:

Für das Vorhaben standen vier bis zu 18 m-lange Sedimentkerne zur Verfügung. Die Kerne stammen aus 270 m bis 600 m Wassertiefe aus dem Schelfcanyon „Swatch of No Ground“. Die Sedimente im Canyon wurden auf der Basis von ¹³⁷Cs-Konzentrationen, die eine Zeitmarke für den Beginn der Test der Atombomben im Jahr 1954 ergeben, mit jährlichen Sedimentationsraten von 45 cm/a bis 13 cm/a abgelagert. Im sedimentologischen Labor des MARUM konnte ein laseroptisches Gerät zur schnellen und hochauflösenden Korngrößenanalyse genutzt werden. Außerdem wurden die Kerne am MARUM mit dem RFA-Bohrkernscanner in Abständen von 1 cm vermessen, um auf Grund der geochemischen Veränderungen Liefergebiete für die Sedimentationsfracht im Canyon zu erkennen.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens:

Die im Projekt vorgesehene PostDoc Stelle war planmäßig mit Dr. Inka Meyer vom 01.05.2011 bis zum 30.04.2012 besetzt, die bereits die beiden Verfahren für ihre Doktorarbeit benutzt hatte. Korngrößenmessungen und RFA-Analysen wurden 2011 und 2012 an allen Kernen abgeschlossen. ^{32}Si -Datierungen wurden erst gegen Ende 2012 am Institute of Geological and Nuclear Science, Neuseeland abgeschlossen. Die erste Integration aller Daten und eine teilweise Interpretation ist durchgeführt. Diese Ergebnisse wurden genutzt, um innerhalb eines im Oktober 2013 eingereichten IODP-Bohrvorhabens die Häufigkeit der tropischen Wirbelstürme im nördlichen Golf von Bengalen zu untersuchen. Dieses Projekt IODP Proposal 823-full wurde zwar im zweiten Begutachtungsdurchgang im November 2013 abgelehnt, aber eine verkürzte Einreichung empfohlen. Das Proposal und speziell die Aspekte der holozänen Zyklonaktivität wurde anhand der aus dem Projekt gewonnenen Daten überarbeitet und am 1. Oktober 2013 (IODP Proposal 877-full) erneut eingereicht.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde:

Das verwendete Kernmaterial war bereits 2003 durch einen Multi-Sensor-Core-Logger und serienmäßige Radiographien untersucht worden. Gradierte Schichten wurden lokalisiert und auch den tropischen Wirbelstürmen zugeordnet (Kudrass et al., 1998; Michels et al., 2003). Die verwendete Analytik hatte es aber nicht erlaubt, die einzelnen gradierten Abfolgen klar voneinander zu trennen, so dass eine große Unsicherheit über die Anzahl der Abfolgen und damit der Zahl der Wirbelsturm-Ereignisse bestand.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Die schwierige chemische Aufbereitung der Proben zur Gewinnung des biogenen Opals für die radiometrische Analyse für die ^{32}Si -Datierungen wurden am Institute of Geological and Nuclear Science /Neuseeland durchgeführt. Am Woods Hole Oceanographic Institute/USA wurden ^{14}C -Analysen an speziellen Biomarkern für die Altersbestimmung durchgeführt und an der ETH Zürich die Isotopie der terrigenen

Fraktion bestimmt (Lupcker et al., 2013). Austausch mit den anderen Projektpartnern fand bei regelmäßigen CARIMA-Treffen statt.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und Projektergebnisse:

Alle vier untersuchten Kerne bestehen im Wesentlichen aus einer Abfolge von gradierten Lagen, die in einem Kern 336 KL exemplarisch den historisch bekannten Wirbelstürmen von 2006 bis 1994 zugeordnet werden (Abb. 1). Die Intensität der Wirbelstürme ist positiv mit der Mächtigkeit und dem Sandgehalt der einzelnen gradierten Lagen korreliert. Die häufigen und intensiveren Wirbelstürme in den siebziger Jahren zeichnen sich in den tieferen Kernabschnitten ab. Die Datierung einzelner Lagen durch das radioaktive ^{32}Si der Diatomeen im Kern hat keine konforme Altersabfolge erbracht, da vermutlich ältere Diatomeen in jüngere Sedimente umgelagert wurden. Übliche ^{14}C -Altersanalyse sind wegen des geringen Alters der verfügbaren Sedimente nicht einsetzbar ist (z.B. der Kern 336 KL hat nach ^{137}Cs bei 16,5 m ein Alter von 60 Jahren). Es konnte daher kein validiertes Altersmodell für die Zeit vor 1950 erstellt werden.

Die erzielten Ergebnisse wurden intensiv genutzt, um drei bis zu 600 m-tiefe IODP-Bohrungen durch die JOIDES Resolution zu begründen, in denen die Zyklonfrequenz anhand von ^{14}C -datierbaren Abschnitten ermittelt werden soll.

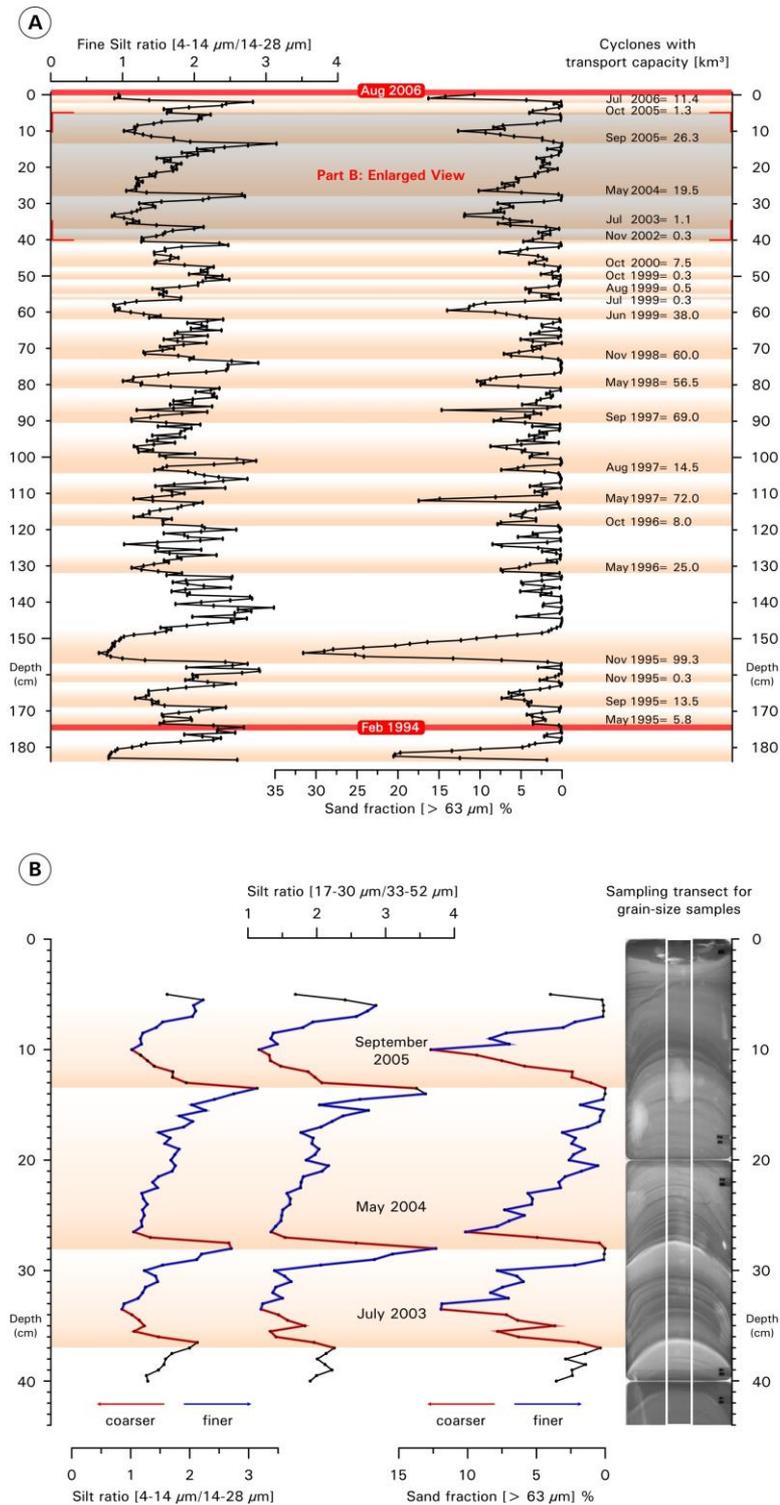


Abb. 1: (A) Korngrößen im Kern 336 KL. Die Zeitmarke stammt von einem an der gleichen Stelle im Februar 1994 genommenen Kern. Die gradierten Lagen sind mit historisch belegten Wirbelstürmen korrelierbar, deren Transportkapazität auf Grund von Sturmgeschwindigkeit und Sturmpfad geschätzt wurde (Kudrass et al., in prep.) (B) Hochauflösende kontinuierliche Korngrößenanalyse und Radiographie zur Begrenzung einzelner gradiertes Folgen.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises:

Der zahlenmäßige Nachweis wird separat bis zum 28.02.2015 übermittelt.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit:

Insgesamt wurden ca. 4000 Analysen mit dem Laserkorngrößenapparatur in Schritten von 1 cm vorgenommen und 48 Kernmeter mit der RFA vermessen (ca. 5000 Messpunkte). Die parallele Vermessung durch die personalaufwändige Korngrößenanalyse und die erheblich schnelleren RFA-Vermessung konnte bestätigen, dass die Zirkon- und Titangehalte sehr gut mit dem Sandgehalt korreliert sind und dass daher zur Analyse der weiteren Kerne auf die detaillierte Korngrößenanalyse verzichtet werden kann.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans:

Beim hier dargestellten Projekt handelt es sich um Grundlagenforschung ohne wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten. Die Ergebnisse aus diesem Projekt werden der Allgemeinheit über die PANGAEA-Datenbank zur Verfügung gestellt. Der Nachweis, dass die Wirbelstürme in den Sedimenten des Schelfcanyons vor Bangladesch als gradierte Lagen dokumentiert sind, erlaubt nun bei den beantragten IODP-Bohrungen mit ¹⁴C-datierbaren Zeitreihen die Frequenz der Wirbelstürme über viel längere Zeitreihen, unter Umständen für das ganze Holozän, zu erweitern. Damit kann die umstrittene Frage untersucht werden, ob die Häufigkeit der Stürme zu Warmzeiten im Holozän zugenommen hatte. Die Ergebnisse könnten dann für die Vorhersage der Häufigkeiten bei sich erwärmenden Klima genutzt werden. Voraussetzung ist aber ein Erfolg bei dem IODP Projekt, da nur das IODP Schiff entsprechend lange ungestörte Bohrkerne gewinnen kann. Das ursprünglich eingereichte Projekt 823-full (Records of geohazards and monsoonal changes in the northern Bay of Bengal) musste verkürzt und überarbeitet werden und wurde am 1. Oktober 2014 erneut eingereicht (Projekt 877-full: High-resolution records of the monsoonal history in the northern Bay of Bengal).

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen:

Eine neue Datierungsmethode an der WHOI/USA, die einen isochronen Ansatz von verschiedenen terrigenen Fraktionen bei der ^{14}C -Analyse nutzt, und AMS ^{14}C -Datierung von einzelnen terrestrischen Biomarken mit kurzer Residenzzeit an Land (Ligninphenole und kurzkettige Fettsäuren) haben gezeigt, dass für die Sedimenten im Canyon ein verlässliches holozänes Altersmodell erstellt werden kann.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse:

Zwei Publikationen sind geplant:

Kudrass, H. R., Machalett, B. Palamenghi, L., and Meyer I.:

Sediment Transport by Gravity Flows off Bangladesh: the Power of Tropical Cyclones Recorded in a Submarine Canyon.

Die bei Zeitschrift „Geology“ eingereichte Version wurde abgelehnt, da eine Arbeit mit einem relativ ähnlichen Thema bereits 1998 erschienen war (Kudrass et al. 1998). Die Gutachter haben vorgeschlagen mehr Details zu publizieren, was nur in einer anderen Zeitschrift möglich ist. Die überarbeitete Version soll November 2014 bei Marine Geology eingereicht werden.

Ein zweites Manuskript wird sich mehr mit dem Transport der suspensionsreichen Dichteströme innerhalb des Canyons und längeren Zeitreihen (bis 1950) befassen. Die Synthese der Daten soll im Januar 2015 abgeschlossen sein, da alle Daten dafür vorliegen.

Literaturliste:

Kudrass, H.R., Michels, K.H., Wiedicke, M., and Suckow, A., 1998, Cyclones and tides as feeders of a submarine canyon off Bangladesh: *Geology* v. 26, p.715–718.

Lupcker, M., France-Lanord, C., Galy, V., Lave, J., and Kudrass, H., 2013. Increasing chemical weathering in the Himalayan system since the Last Glacial Maximum. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 365, p. 243-252.

Michels, K.H., Suckow, A., Breitzke, M., Kudrass, H.R., and Kottke, B., 2003, Sediment transport in the shelf canyon “Swatch of No Groud” (Bay of Bengal): *Deep-Sea Research II*, v. 50, p. 1003-1022.

Zuwendungsempfänger: Universität Bremen, MARUM, Prof. Dr. Michael Schulz	Förderkennzeichen: 03G0806A
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: WTZ Zentralasien: CARIMA: Natürliche vs. Anthropogene Steuerungsfaktoren spätquartärer Monsunvariabilität in Zentralasien aufgezeichnet in marinen Archiven; Leitantrag; Vorhaben: TP – 2.1, 2.3, 2.4	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2012 – 31.8.2014	

1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms - (ggf. unter Angabe des Schwerpunkts) - soweit dies möglich ist

Die Untersuchungen tragen zum BMBF-Rahmenprogramm „Forschung und nachhaltige Entwicklungen im Bereich der Erdsystemforschung“ und zu den Forschungsschwerpunkten „Ozeanzirkulation und Klimadynamik“, „Stoffkreisläufe im Erdsystem“ und „Dynamische Erdsystemmodellierung“ in der Schlüsselregion Zentralasien bei.

2. wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

Das Projekt verfolgte das Ziel, großskalige Umweltveränderungen an Land anhand mariner Sedimentkerne zu rekonstruieren und durch den Vergleich mit Modellergebnissen natürliche und anthropogene Antriebsmechanismen zu unterscheiden. Besondere Schwerpunkte lagen auf dem Wandel der Monsunintensität, sowie auf Änderungen der Vegetation. Dabei wurden Variationen im Holozän, sowie in früheren Interglazialen auf saisonalen bis multidekadischen Zeitskalen untersucht. Speziell wurden folgende Kernergebnisse erzielt: (i) Im nördlichen Südchinesischen Meer wurden im Rahmen einer Expedition (Projekt INVERS) mit dem Forschungsschiff SONNE mehrere Sedimentkerne erbohrt, die nach einer ersten Analyse im Rahmen von CARIMA bis ca. 500.000 Jahre vor Heute (MIS-13) zurückreichen. Die Reichweite und die Qualität dieser Sedimentkerne haben die ursprünglichen Erwartungen weit übertroffen. (ii) Die Rekonstruktion des Meeresoberflächensalzgehalts im nördlichen Südchinesischen Meer zeigt abnehmende Salzgehalte von etwa 8.000 Jahre bis heute. Diese deuten auf eine Abnahme im Abfluss des Pearl Rivers im Zuge eines sich abschwächenden Sommermonsuns hin. (iii) Als Antwort auf die höhere Sonneneinstrahlung in Modellsimulationen für 4.000, 6.000 und 8.000 Jahre vor Heute nahmen die Regenfälle während des südasiatischen Monsuns zu, was sich in einer Erhöhung des Niederschlags im Jahresmittel um ~1 mm/Tag ausdrückte. Feuchte Luft, die verstärkt vom Meer herangeführt wurde, sowie ein verstärkter lokaler Wasserkreislauf trugen zu diesen positiven Niederschlagsanomalien bei.

3. Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des Zuwendungsempfängers brauchen nicht offenbart zu werden):

3.1 *Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten*

Im Rahmen von CARIMA sind keine Erfindungen gemacht worden. Es wurden auch keine Schutzrechtsanmeldungen durchgeführt.

3.2 *Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt),*

Bei diesem Vorhaben handelte es sich um reine Grundlagenforschung. Daher wurden und werden keine wirtschaftlich verwertbaren Ergebnisse erwartet.

3.3 *Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken,*

Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen,

Die abgeschlossene Phase des Projektes CARIMA diene insbesondere der Gewinnung von Probenmaterial und zur Methodenentwicklung. Die weitergehenden wissenschaftliche Auswertung der langen Sedimentkerne, die mit dem MeBo im Rahmen der Expedition SO-221 gewonnen wurden, wird Bestandteil geplanter Projekte sein.

3.4 *Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse*

Schwerpunkt wäre die Anwendung der entwickelten Methoden auf die vorhandenen (nordöstliches Arabische Meer bis vor die Indus-Mündung) und die neuen (Südchinesisches Meer) hochauflösenden Sedimentarchive. Die Sedimentkerne aus dem Südchinesischen Meer würden wie ursprünglich geplant in der 2. Phase analysiert werden. Die bislang vorliegenden Ergebnisse der ersten Phase und die hervorragende Qualität des mit SONNE erbohrten Kernmaterials versprechen die erfolgreiche Anwendung des in der ersten Phase erarbeiteten Methodenspektrums. Es bestehen sehr gute Erfolgsaussichten, natürliche von anthropogenen Antriebsmechanismen (bzgl. z.B. Verwitterungsintensität, Landbedeckung/-nutzung) zu identifizieren, zu modellieren und zu quantifizieren. Zentral wäre die Untersuchung von Kipppunkten im Monsunsystem und Wechselwirkungen im Klimasystem im Gefolge von Klimaereignissen in Warmzeiten (z.B. „8,2 ka Ereignis“). Damit können wichtige Bausteine zur besseren Vorhersage der Auswirkungen zukünftiger Veränderungen im Monsun erarbeitet werden. Optional ist weiterhin an die ursprünglich für die 2. Phase vorgesehene Untersuchung der Entwicklung im Ganges-Brahmaputra Delta gedacht. Dabei sollen geophysikalische Messungen genutzt werden, um die Balance zwischen Absenkung und Sedimenteintrag besser zu quantifizieren. Strukturell ist vorgesehen, die ursprünglich aus der Zusammenlegung zweier Projekte entstandenen Arbeitspakete 1 und 2 in der zweiten Phase in einem einzigen Arbeitspaket zusammenzufassen. Hintergrund ist die sehr gut entwickelte Integration der beiden Arbeitspakete während der 1. Phase.

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Keine

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt),

Darstellung der technischen und wissenschaftlichen Ergebnisse auf internationalen wissenschaftlichen Tagungen, gemeinsame Veröffentlichung der Ergebnisse in internationalen Zeitschriften.

6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung.

Ausgaben- und Zeitplanung wurden im Verlauf des Projektes angepasst. Die angepasste Planung wurde eingehalten.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN ISSN 0931-0800	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Natural versus anthropogenic controls of past monsoon variability in Central Asia recorded in marine archives (CARIMA)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schulz, Michael	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.08.2014
	6. Veröffentlichungsdatum 11.2014
7. Form der Publikation Elektronisch	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution ./.
	10. Förderkennzeichen *) 03G0806A
11. Seitenzahl: 26	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben: In Schlussbericht integriert
	14. Tabellen: keine
15. Abbildungen: In Schlussbericht integriert	
16. Zusätzliche Angaben ./.	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich	
18. Kurzfassung	
<p>Das Projekt verfolgte das Ziel, großskalige Umweltveränderungen an Land anhand mariner Sedimentkerne zu rekonstruieren und durch den Vergleich mit Modellergebnissen natürliche und anthropogene Antriebsmechanismen zu unterscheiden. Besondere Schwerpunkte lagen auf dem Wandel der Monsunintensität, sowie auf Änderungen der Vegetation. Dabei wurden Variationen im Holozän, sowie in früheren Interglazialen auf saisonalen bis multidekadischen Zeitskalen untersucht. Speziell wurden folgende Kernergebnisse erzielt:</p> <p>Im nördlichen Südchinesischen Meer wurden im Rahmen einer Expedition mit dem Forschungsschiff SONNE mehrere Sedimentkerne erbohrt, die nach einer ersten Analyse bis ca. 500.000 Jahre vor Heute (MIS-13) zurückreichen. Die Reichweite und die Qualität dieser Sedimentkerne haben die ursprünglichen Erwartungen weit über-troffen.</p> <p>Die Rekonstruktion des Meeresoberflächensalzgehalts im nördlichen Südchinesischen Meer zeigt abnehmende Salzgehalte von etwa 8.000 Jahre bis heute. Diese deuten auf eine Abnahme im Abfluss des Pearl Rivers im Zuge eines sich abschwächenden Sommermonsuns hin.</p> <p>Als Antwort auf die höhere Sonneneinstrahlung in Modellsimulationen für 4.000, 6.000 und 8.000 Jahre vor Heute nahmen die Regenfälle während des südasiatischen Monsuns zu, was sich in einer Erhöhung des Niederschlags im Jahresmittel um ~1 mm/Tag ausdrückte. Feuchte Luft, die verstärkt vom Meer herangeführt wurde, sowie ein verstärkter lokaler Wasserkreislauf trugen zu diesen positiven Niederschlagsanomalien bei.</p> <p>Im Vergleich zur Modellsimulation für den vorindustriellen Zustand wurde in Experimenten für 4.000, 6.000 und 8.000 Jahre vor Heute über dem Ganges-Brahmaputra-Einzugsgebiet ein isotopisch stärker angereicherter Niederschlag simuliert, was auf den Mengeneffekt hinweist. Eine vorläufige Analyse der Vertikalgeschwindigkeit im Jahresmittel auf der 500-hPa-Isobaren zeigte insbesondere in den Experimenten für 4.000 und 6.000 Jahre vor Heute eine Zunahme der Konvektion über dem Land (über dem Nordosten des indischen Subkontinents und dem nördlichen Golf von Bengalen). Mit Ausnahme der 2000-Jahre v.H. Simulation führen die Proxy-Daten und die Modellergebnisse zu δD-precip-Anomalien über dem Ganges-Brahmaputra-Einzugsgebiet, die auf den heutigen Zustand bezogen durchweg negativ sind.</p>	
19. Schlagwörter South China Sea, Arabian Sea, Gulf of Bengal, Interglacial, Asian Summer Monsoon	
20. Verlag ./.	21. Preis ./.

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN ISSN 0931-0800	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Natural versus anthropogenic controls of past monsoon variability in Central Asia recorded in marine archives (CARIMA)	
4. author(s) (family name, first name(s)) Schulz, Michael	5. end of project 31.08.2014
	6. publication date 11.2014
7. form of publication electronic publication	
8. performing organization(s) (name, address) MARUM, Center for Marine Environmental Sciences, University of Bremen	9. originator's report no. ./
	10. reference no. 03G0806A
11. no. of pages: 26	
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references: Integrated in report
	14. no. of tables: none
15. no. of figures: Integrated in report	
16. supplementary notes ./	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Jülich	
18. abstract <p>The project had the aim to reconstruct large-scale environmental changes on land using marine sedimentary records and to disentangle natural and anthropogenic forcing mechanisms based on data-model comparisons. Specific foci were changes in monsoon intensity and changes in vegetation. Variations on seasonal to multi-decadal timescales were investigated in the Holocene as well as in earlier interglacials.</p> <p>In the northern part of the South China Sea several sediment cores were drilled with the research vessel SONNE, which extend back to marine isotope stage 13 (about 500,000 years before present). The stratigraphic age range and quality of these sediment cores has exceeded expectations by far.</p> <p>Reconstructed sea-surface salinity in the northern South China Sea show a reduction in salinity from 8,000 years before present until today. This suggests a trend towards reduced Pearl River runoff caused by a weakening of the summer monsoon.</p> <p>South Asian monsoon rains (~1 mm per day in the annual mean anomalies) strengthened in response to the increased solar insolation in model simulations for 4,000, 6,000, and 8,000 years before present. Moist oceanic air through increased advection from the ocean and local moisture recycling likely contributed to these positive precipitation anomalies.</p> <p>In comparison to the pre-industrial simulation, more depleted isotopic concentrations in precipitation were simulated over the catchment areas for 4,000, 6,000, and 8,000 years before present, hinting to the isotopic amount effect. Preliminary analysis of the annual mean model results of vertical velocity at 500 hPa showed increased convective activity over the land (north-eastern India and northern Bay of Bengal), in particular, for the 4,000 and 6,000 year before present simulations, that could lead to more depleted rainfall. Except for the simulation for 2,000 years before present, proxy data and model catchment mean agree on the negative anomalies in δD-precip from the present-day.</p>	
19. keywords South China Sea, Arabian Sea, Gulf of Bengal, Interglacial, Asian Summer Monsoon	
20. publisher ./	21. price ./