

DISS. ETH NO. 20630

**High-resolution reconstruction of Glacial to
Holocene climate variability from sediments of the
Cariaco Basin and Arabian Sea**

A dissertation submitted to
ETH ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

GAUDENZ DEPLAZES
Dipl. Natw. ETH

born 15.08.1980

citizen of
Sumvitg (Graubünden)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Gerald H. Haug	ETH Zürich	Examiner
Dr. Andreas Lückge	BGR Hannover	Co-examiner
Prof. Dr. Larry C. Peterson	RSMAS University of Miami	Co-examiner
Prof. Dr. Helge Arz	IOW Rostock	Co-examiner

2012

Summary

The last glacial period experienced large millennial-scale climate oscillations, which were first discovered in Greenland ice cores and North Atlantic sediments. Subsequently, traces of these Dansgaard-Oeschger (DO) oscillations and Heinrich events have also been found in climate archives of the northern mid-latitudes and the tropics. However, their origin and the involved connection between high and low latitudes is still a matter of debate. The impact on environmental conditions and the temporal evolution of these climate oscillations in the tropics are currently poorly understood, partly because of a lack of resolution and continuity of many existing records.

The aim of this thesis is to reconstruct Glacial to Holocene tropical climate variability at millennial to annual timescales based on sediments from the Cariaco Basin (Venezuela) and the northeastern Arabian Sea. Both study sites provide climate archives of exceptional resolution and preservation, as they record the seasonally varying sedimentary input of terrestrial and marine origin, which depends on the variability of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and the Indian monsoon. The sediment cores have been studied with a combination of color, geochemical (e.g., XRF, LA-ICP-MS) and lamination microfacies analyses.

The resulting sediment color records of unprecedented resolution indicate that the warmer periods of the DO oscillations over Greenland (interstadials) were consistently associated with a northerly position of the Atlantic ITCZ and strong Indian summer monsoon. The tight correspondence is distinctly illustrated at abrupt climate transitions, e.g., at onsets of interstadials, and during centennial-scale events preceding some interstadials, which have for the first time been identified in the tropics. The largest interannual variability in lamination is observed in interstadial sediment sections. During mild stadials, the ITCZ seems to have also passed seasonally over the Cariaco Basin, but the interannual variability in lamination is muted relative to the interstadials. During peak stadials and Heinrich events, the lack of lamination in the sediment core suggests that the ITCZ was perennially south of the Cariaco Basin, consistent with a climate model simulation of a Heinrich event. In contrast to the familiar sawtooth pattern of the interstadials recorded in Greenland ice cores, the new tropical hydroclimate records frequently show non-sawtooth shaped interstadials followed by a more variable range of colder climate states. It is proposed that these qualitative differences point to different sensitivities to the spatial extent of sea ice in the North Atlantic.

For the first time, detailed sedimentologic and geochemical analysis of glacial lamination in the Cariaco Basin were carried out in this thesis. The results reveal couplets of light colored, terrigenous-rich and dark colored biogenic opal-rich laminae, which are interpreted

to reflect the seasonal migration of the ITCZ. In addition, a previously undescribed, terrigenous lamina type is observed, which is interpreted as flood layers originating from local rivers. The occurrence of these layers over the last 110 kyrs seems to be influenced by changes in sea level on an interglacial to glacial timescale. On a millennial scale, the increased occurrence of these events during interstadials of Marine Isotope Stage 3 indicates increased rainfall variability and enhanced frequency of flooding events.

Elemental and grain-size analyses of sediments from the oxygen minimum zone (OMZ) at the Indus slope indicate that the Arabian Sea received increased sediment contributions from the Indus River during interstadials. In contrast, stadials are characterized by an increased contribution of aeolian dust from the Arabian Peninsula. Productivity-related proxies (sediment color, organic content) change abruptly and coevally with the fluvial and aeolian proxies on a decadal scale, suggesting a dominant role of the monsoon on the oceanographic conditions. Heinrich events stand out as especially dry and dusty events, pointing to a dramatically weakened Indian summer monsoon and increased aridity on the Arabian Peninsula.

Marine conditions at the Indus slope are reconstructed over the last centuries analyzing a suite of high-resolution records of organic and inorganic palaeoceanographic proxies. They indicate that anthropogenically decreased discharge of the Indus River resulted in a reduction of primary productivity off the Pakistan coast and a subsequent weakening of the regional OMZ. Variations in riverine nutrient supply had likely an important influence on regional productivity and OMZ intensity both in the northeastern Arabian Sea and the Cariaco Basin not only over the last century but also on millennial timescales.

The presented results imply that circum-North Atlantic temperature changes translate to hydrological shifts in the tropics, with major impacts on regional environmental conditions such as rainfall, river discharge, and ocean margin anoxia. The tropics, in turn, likely provided essential feedback mechanisms impacting the circum-North Atlantic and the Atlantic meridional overturning circulation via their influence on salinity, density and heat transport of the waters feeding the North Atlantic.

Zusammenfassung

Die letzte Eiszeit war geprägt von bedeutenden, mehr als tausendjährigen Klimaschwankungen, welche zuerst im grönländischen Eis und in Sedimenten des Nordatlantiks nachgewiesen wurden. Spuren dieser sogenannten Dansgaard-Oeschger (DO)-Oszillationen und Heinrich-Ereignisse fanden sich später auch in Klimaarchiven der mittleren Breiten und der Tropen. Deren Ursprung und die involvierte Verbindung zwischen hohen und tiefen Breiten bleiben jedoch umstritten. Die Umweltauswirkungen und der zeitliche Ablauf dieser Klimaschwankungen in den Tropen sind nur lückenhaft bekannt, unter anderem weil viele existierende Klimaarchive nicht eine genügend hohe Auflösung oder Kontinuität aufweisen.

Die vorliegende Doktorarbeit hat zum Ziel, basierend auf Sedimenten vom Cariaco-Becken, Venezuela, und dem nordöstlichen Arabischen Meer die glaziale bis holozäne tropische Klimavariabilität auf jährlichen bis tausendjährigen Zeitskalen zu rekonstruieren. In beiden Regionen finden sich Klimaarchive aussergewöhnlicher Auflösung und Erhaltung, da sie den saisonal variierenden, sedimentären Eintrag terrestrischen und marinen Ursprungs aufzeichnen, welcher von der Variabilität der Intertropischen Konvergenzzone (ITCZ) und des Indischen Monsuns abhängt. Die Farbe, die geochemische Zusammensetzung (z.B. XRF, LA-ICP-MS) und die Mikrofazies der Lagen der Sedimente wurden analysiert.

Die resultierenden Farbdatensätze einer bisher unerreichten Auflösung deuten darauf hin, dass die wärmeren Perioden der DO-Oszillationen (Interstadiale) konsistent mit einer nördlichen Position der Atlantischen ITCZ und einem starken Indischen Monsun verbunden waren. Diese enge Verknüpfung wird auf deutliche Weise z.B. an abrupten Klimaübergängen und an wenige Jahrhunderte dauernden Ereignissen kurz vor dem Beginn von Interstadialen illustriert, welche zum ersten Mal in den Tropen identifiziert wurden. Die höchste interannuelle Variabilität der Lamination wird in interstadialen Sedimentsektionen beobachtet. Während milden Stadialen scheint die ITCZ das Cariaco-Becken saisonal auch erreicht zu haben, aber die interannuelle Variabilität der Lamination ist schwächer als während den Interstadialen. Während den ausgeprägten Stadialen und den Heinrich-Ereignissen deutet das Fehlen der Lamination darauf hin, dass die ITCZ über das ganze Jahr südlich des Cariaco-Beckens lag, was mit der Klimamodell-Simulation eines Heinrich-Ereignisses übereinstimmt. Im Gegensatz zum bekannten Sägezahn-Muster der Interstadiale der grönländischen Eiskerne zeigen die neuen tropischen hydroklimatischen Datensätze oft Interstadiale ohne Sägezahn-Muster, denen variabel kalte Klimazustände folgen. Diese qualitativen Unterschiede lassen möglicherweise auf unterschiedliche Sensitivitäten im Zusammenhang mit der Ausbreitung von Meereis im Nordatlantik schliessen.

Die in dieser Arbeit erstmals durchgeführten detaillierten sedimentologischen und geochemischen Analysen der glazialen Lamination im Cariaco-Becken offenbaren Paare aus hellen, terrigenen und dunklen, biogenen opalreichen Lagen, welche als Abbild der saisonalen Migration der ITCZ interpretiert werden. Zusätzlich wurde ein zuvor unbeschriebener, terrigener Laminationstyp beobachtet, welcher als Flutlagen lokaler Flüsse interpretiert wird. Das Auftreten dieser Lagen über die letzten 110 tausend Jahre scheint auf einer interglazial-glazial Zeitskala vom Meeresspiegel beeinflusst zu sein. Auf tausendjährigen Zeitskalen deutet das zunehmende Auftreten dieser Lagen während Interstadialen des Marinen Isotopenstadiums 3 auf eine zunehmende Niederschlagsvariabilität und eine erhöhte Flutfrequenz hin.

Element- und Korngrößenanalysen von Sedimenten aus der Sauerstoff-Minimum-Zone (OMZ) am Indus-Abhang weisen darauf hin, dass das Arabische Meer während Interstadialen zunehmende Sedimentanteile vom Indus erhielt. Im Gegensatz dazu sind Stadiale durch erhöhte Anteile an äolischem Staub von der Arabischen Halbinsel gekennzeichnet. Produktivitätsabhängige Indikatoren (Sedimentfarbe, organischer Gehalt) ändern abrupt und gleichzeitig mit den äolischen und fluviatilen Indikatoren auf dekadischen Zeitskalen, was auf eine dominante Rolle des Monsuns auf die ozeanographischen Bedingungen hindeutet. Heinrich-Ereignisse treten als besonders trockene und staubige Ereignisse hervor, was für einen dramatisch geschwächten Indischen Monsun und zunehmende Trockenheit auf der Arabischen Halbinsel spricht.

Marine Bedingungen am Indus-Abhang über die letzten Jahrhunderte wurden aufgrund hochaufgelöster Datensätze organischer und anorganischer paläozeanographischer Indikatoren untersucht. Diese weisen darauf hin, dass der anthropogen verminderte Abfluss des Indus zu einer Abnahme der Primärproduktion vor der pakistanischen Küste und einer nachfolgenden Abschwächung der regionalen OMZ führte. Die Variationen im fluviatilen Nährstoffeintrag hatten wahrscheinlich nicht nur über die letzten Jahrhunderte, sondern auch auf tausendjährigen Zeitskalen einen bedeutenden Einfluss auf die Primärproduktion sowohl im nordöstlichen Arabischen Meer als auch im Cariaco-Becken.

Die präsentierten Resultate liefern neue Anhaltspunkte dafür, dass die Nordatlantischen Temperaturveränderungen zu hydrologischen Verschiebungen in den Tropen führten, welche bedeutende Auswirkungen auf die regionalen Umweltbedingungen wie Niederschlag, Stromabfluss und ozeanographischen Sauerstoffgehalt hatten. Im Gegenzug beeinflussten die Tropen durch ihre Einwirkung auf den Salzgehalt, die Dichte und den Wärmetransport der Wässer, welche zum Nordatlantik fließen, wohl entscheidend den Nordatlantik und die meridionale Meereszirkulation (Rückkoppelungseffekte).