



Doctoral Thesis

Coccolith studies in the Canary Basin glacial-interglacial paleoceanography of the Eastern Boundary Current system

Author(s):

Henderiks, Jorijntje

Publication Date:

2001

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004184651> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 14086

**COCCOLITH STUDIES IN THE CANARY BASIN:
GLACIAL-INTERGLACIAL PALEOCEANOGRAPHY OF
THE EASTERN BOUNDARY CURRENT SYSTEM**

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

for the degree of

DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by

Jorijntje Henderiks

M.Sc. in Geology, Free University Amsterdam

born on December 13, 1973

citizen of the Netherlands

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Hans R. Thierstein

Prof. Dr. Gerold Wefer

Prof. Dr. Katharina Von Salis

examiner

1st co-examiner

2nd co-examiner

ZÜRICH, 2001

ABSTRACT

The interaction of seasonal coastal upwelling off Morocco and input of Saharan dust is believed to play a major role in biologic productivity and related sediment supply in the Canary Basin. Both features are closely related to the prevailing trade wind system of NW Africa, and therefore linked to climate dynamics. The Azores and Canary currents are the two main surface currents within the Northeast Atlantic subtropical gyre system, also known as the Eastern Boundary Current system.

The main goal of the present study was to investigate whether the modern regional gradients of sea surface fertility and temperature can be detected in surface and down-core sediments by studying 1) coccolith accumulation rates and 2) coccolith morphology of keystone taxa. Subsequently, these methods were applied to reconstruct regional paleoceanography during the last two glacial-interglacial climate cycles. Sediment records selected for this study were mainly taken along a 500 km long east-west transect north of the Canary Islands, and cover the modern high-productivity coastal zone and the more oligotrophic open-ocean region.

An increase in total mass accumulation rates from a low of $1\text{-}2\text{ g cm}^{-2}\text{ ka}^{-1}$ in the outer oceanic domain to $6\text{-}12\text{ g cm}^{-2}\text{ ka}^{-1}$ closer to the Moroccan shelf was demonstrated in Holocene sediments. Accumulation rates of separate sediment components generally followed this trend. Total coccolith accumulation was highest near-shore with $75\text{-}90\cdot 10^9$ coccoliths $\text{cm}^{-2}\text{ ka}^{-1}$, whereas this was about $40\cdot 10^9$ coccoliths $\text{cm}^{-2}\text{ ka}^{-1}$ at the outer oceanic sites. Estimates of coccolith carbonate accumulation at the oceanic sites correspond well to average yearly fluxes recorded in sediment traps north of the Canary Islands, and roughly vary between 0.70 and $0.80\text{ g cm}^{-2}\text{ ka}^{-1}$ (corresponding to ~ 4 to $6\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ in sediment traps). This correspondence between Holocene sediments and sediment traps, however, was not found at the near-shore sites between the Island of Lanzarote and the Moroccan continental margin. At these sites, Holocene accumulation rates of coccolith carbonate were more than twice as high (2.50 to $3.70\text{ g cm}^{-2}\text{ ka}^{-1}$) than fluxes measured in the sediment traps above. This points to significant resuspension of fine-grained sediments and sediment focussing.

A surplus of the coccolith species *Gephyrocapsa muelleriae*, which today is only found to live in cool waters north of the Azores Front, relative to expected quantities at modern sea surface temperatures was found in sediments located below the Azores and Canary currents and is an indication of lateral advection of coccoliths by the Eastern Boundary Current system.

During the Last Glacial Maximum (LGM, oxygen isotopic event 2.2), mass accumulation rates were 2 to 4 times higher at the near-shore sites than Holocene values. Total mass accumulation rates during the Last Interglacial Climax (LIC, isotopic event 5.5) and at the end of the Penultimate Glaciation (ePG, isotopic event 6.2) resemble

Holocene values, with lowered near-shore maxima of 3 and 4 g cm⁻² ka⁻¹, respectively. Primary productivity was enhanced during glacial times, which was reflected in higher total organic carbon and diatom accumulation rates, especially during the LGM. In this time-slice, maximal accumulation rates of coccoliths (129·10⁹ liths cm⁻² ka⁻¹) occurred near-shore. Nevertheless, biogenic carbonate accumulation (coccoliths and planktic foraminifera) was modified by increased glacial carbonate dissolution. This is likely a consequence of enhanced formation of dissolved CO₂ resulting from the decay of increased amounts of organic matter, which would be a result of high primary productivity in the upwelling area. Coastal erosion during glacial sea level lows appears to be responsible for drastic increases in accumulation of detrital carbonate and lithogenic particles.

Glacial decreases in accumulation rates of individual coccolith taxa (e.g. *Gephyrocapsa oceanica* and *Umbilicosphaera sibogae*) are a result of lowered production of these species in colder surface waters, especially near-shore due to enhanced upwelling. Decreases of more delicate species (e.g. *Umbellosphaera tenuis*) may be the result of increased coccolith dissolution alone.

Drastic glacial increases in the accumulation rates of *G. muelleriae* may reflect decreased sea surface temperatures, but also an increase in lateral particle transport by the Azores and Canary Currents, possibly related to a southward shift of the Polar and Azores Fronts.

The use of coccolith morphology as a paleoceanographic proxy for the LGM was evaluated in the Canary Basin and offshore Cape Blanc (Mauritania).

A new paleotemperature transfer function based on the morphology of *Gephyrocapsa* sp. Kamptner, 1943 revealed that sea surface temperatures during the LGM were up to 6°C colder than today in the Canary Islands region, with greatest $\Delta T_{\text{today-LGM}}$ (5-6°C) about 200 km off-shore, likely due to intensified coastal upwelling. These values are consistent with estimates from the CLIMAP Project (1981) and other paleotemperature reconstructions in the same region.

In contrast, offshore Cape Blanc, temperature estimates for the LGM are significantly warmer ($\Delta T \leq 4^\circ\text{C}$) than proposed by CLIMAP (ΔT 6-10°C). Similarly, temperature reconstructions based on alkenones also indicate smaller temperature changes ($\Delta T < 3^\circ\text{C}$) in this area. This observation could be additional support for the hypothesis that off-shore Cape Blanc less vigorous coastal upwelling prevailed during the LGM, due to increased but predominantly off-shore (continental) trade winds, as proposed by previous authors.

Coccoliths of *Calcidiscus leptoporus* (Murray and Blackman, 1898) Loeblich and Tappan, 1978 were significantly larger during the LGM in the Canary Basin, especially at sites in the vicinity of Cape Ghir, one of the main regions where coastal upwelling occurs today. Other authors revealed distinct seasonal variability in coccolith size of *C. leptoporus* in plankton samples from the Sargasso Sea, with largest coccoliths produced

in winter, and to a lesser extent the same was found in sediment trap samples from the Canary Islands region. Therefore, an increase in large coccoliths appears to reflect a possible change in coccolithophore productivity related to seasonality during the LGM. However, additional morphometric research on plankton samples from the Canary Islands region is necessary to further constrain present-day seasonal variability of *C. leptoporus* size in the Azores and Canary currents.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Zusammenspiel von saisonalem Auftrieb an der Küste vor Marokko und dem Eintrag von Staub aus der Sahara haben nach heutiger Überzeugung einen bedeutenden Einfluss auf die biologische Produktion und dem davon abhängigen Sedimenteintrag in das Kanaren Becken. Beide Prozesse sind eng an die vorherrschenden Windsysteme Nordwestafrikas und daher an die Klimadynamik gebunden. Die Azoren und Kanaren Ströme sind die wichtigsten Oberflächenwassermassen innerhalb des Nordost-Atlantischen, subtropischen Wirbelsystems, auch bekannt als „Eastern Boundary current system“.

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung, ob die heutigen regionalen Primärproduktionsgradienten und Temperaturen an der Meeresoberfläche in Rezenten und fossilen Sedimenten basierend auf 1) den Akkumulationsraten von Coccolithen und 2) der Morphologie von ausgewählten Coccolithen-Arten nachgewiesen werden können. Diese Methoden wurden zur Rekonstruktion regionaler Paläozeanographie während der letzten beiden Glazial-Interglazial Klimazyklen angewandt. Die ausgewählten Sedimentkerne stammen von einem 500 km langen Ost-West Transekt nördlich der Kanarischen Inseln und decken sowohl die heutige hochproduktive Küstenzone als auch die eher oligotrophe offenmarine Region ab.

Die Holozänen Sedimente zeigen eine Zunahme der Akkumulationsraten des Gesamtsedimentes von einem Minimum von $1-2 \text{ g cm}^{-2} \text{ ka}^{-1}$ im offenen Ozean bis $6-12 \text{ g cm}^{-2} \text{ ka}^{-1}$ in der Nähe des Marokkanischen Schelfs. Die Akkumulationsraten der einzelnen Sedimentkomponenten folgen generell diesem Trend. Die Akkumulation von Coccolithen weist mit $75 \text{ bis } 90 \cdot 10^9 \text{ Coccolithen cm}^{-2} \text{ ka}^{-1}$ ebenfalls sehr hohe Werte nahe der Küste auf und, im Gegensatz dazu, geringere Werte von circa $40 \cdot 10^9 \text{ Coccolithen cm}^{-2} \text{ ka}^{-1}$ im offenen Ozean. Die Akkumulationsberechnungen von Karbonat, welche von Coccolithen gebildet wurde, stimmen gut mit den durchschnittlichen Jahresflüssen von $0.7 \text{ und } 0.8 \text{ g cm}^{-2} \text{ ka}^{-1}$ bzw. $4 \text{ bis } 6 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ überein, die in Sedimentfallen nördlich der Kanarischen Inseln gemessen wurden. Im Gegensatz dazu zeigen küstennahe Lokationen zwischen Lanzarote und der Marokkanischen Küste doppelt so hohe Holozäne

Akkumulationsraten von Coccolithen-Karbonat (2.50 to $3.70 \text{ g cm}^{-2} \text{ ka}^{-1}$) als in den darüberliegenden Sedimentfallen aufgezeichnet wurden. Dies deutet auf eine bedeutende Resuspendierung von feinkörnigem Sediment und dessen Anreicherung hin.

Sedimente, die im Einfluss der Azoren- und Kanaren Ströme abgelagert wurden, zeigen ein erhöhtes Vorkommen der Coccolithen Art *Gephyrocapsa muelleriae*, die heute ausschließlich in kühleren Wassermassen nördlich der Azoren Front lebt. Dies ist ein zusätzlicher Hinweis für laterale Advektion von Coccolithen durch den östlichen Arm des subtropischen Wirbelsystems.

Im letzten glazialen Maximum (LGM, Sauerstoffisotopen Stadium 2.2) wurde zwischen der Küste und dem offenen Ozean ein steilerer Gradient der Akkumulationsraten des Gesamtsedimentes als im Holozän gemessen, mit 2 bis 4-fach erhöhten Werten in den küstennahen Kernen. Während des letzten interglazialen Maximums (LIC, Sauerstoffisotopen Stadium 5.5) und am Ende der vorletzten Vereisung (ePG, Sauerstoffisotopen Stadium 6.2) entsprechen die Akkumulationsraten des Gesamtsedimentes Holozänen Werten, mit einem küstennahen Maximum von 3 bzw. $4 \text{ g cm}^{-2} \text{ ka}^{-1}$. Die verstärkte Primärproduktion in glazialen Zeiten spiegelt sich, besonders während des LGM, in erhöhten Akkumulationsraten von organischem Kohlenstoff und Diatomeen wieder. Während des LGM wurden küstennah die höchsten Akkumulationsraten von Coccolithen mit $129 \cdot 10^9 \text{ Coccolithen cm}^{-2} \text{ ka}^{-1}$ nachgewiesen. Dennoch wurde die biogene Karbonat-Akkumulation (Coccolithen und planktische Foraminiferen) durch verstärkte Karbonatlösung beeinflusst, wahrscheinlich als Konsequenz einer erhöhten Bildung von gelöstem CO_2 , der aus dem Abbau größerer Mengen organische Substanz resultiert, welche wiederum durch die glaziale Hochproduktivität im Auftriebsgebiet hervorgerufen wird. Die Erosion entlang der Küste während glazialer Meeresspiegeltiefständen scheint die Ursache für einen starken Anstieg in der Akkumulation detritischen Karbonats und lithogener Partikel zu sein.

Die verringerte Ablagerung einzelner Coccolithen Arten (z.B. *Gephyrocapsa oceanica* und *Umbilicosphaera sibogae*) während des Glaziales sind das Ergebnis einer reduzierten Produktion dieser Arten in kälteren Oberflächenwassermassen besonders in küstennahem Auftrieb. Der Rückgang einiger lösungsanfälliger Arten (z.B. *Umbellosphaera tenuis*) könnte alleine durch eine höhere Coccolithen Lösung hervorgerufen werden. Ein drastischer Anstieg der Akkumulation von *G. muelleriae* scheint verringerte Oberflächentemperaturen wider zu spiegeln, obwohl dies auf der anderen Seite ebenfalls ein guter Anzeiger für einen Anstieg des lateralen Partikeltransportes durch Azoren und Kanaren Ströme zu sein scheint, welche an eine südwärts Verlagerung von Polar und Azoren Front gebunden sein könnte.

Die Bedeutung von Coccolithen Morphologie als ein Anzeiger für die Paläozeanographie während des LGM wurde im Kanaren Becken und vor Cape Blanc (Mauretanien) untersucht.

Basierend auf der Morphologie von *Gephyrocapsa* sp. Kamptner 1943, wurde eine neue Paläotemperatur Transferfunktion entwickelt. Diese belegt, dass während des LGM die Oberflächenwassertemperaturen in der Kanaren Region bis zu 6°C kälter waren als heute, mit den größten Unterschieden (5-6°C) circa 200 km vor der Küste, welche höchstwahrscheinlich durch eine Intensivierung küstennahen Auftriebs verursacht wurden. Diese Werte entsprechen Abschätzungen durch das CLIMAP Projekt (1981) und anderen Paläotemperaturrekonstruktionen im gleichen Gebiet.

Im Gegensatz dazu weisen die Temperaturen, die für die Region vor Cape Blanc berechnet wurden, auf deutlich wärmere Bedingungen ($\Delta T \leq 4^\circ\text{C}$) als von CLIMAP vorgeschlagen wurde (ΔT 6-10°C). Alkenon basierte Temperaturrekonstruktionen, zeigen ebenfalls geringere Temperaturschwankungen auf ($\Delta T < 3^\circ\text{C}$). Dieses Ergebnis unterstützt zusätzlich die Hypothese, dass der Auftrieb vor Cape Blanc im LGM verringert war, verursacht durch zwar verstärkte aber vorherrschend ablandige (kontinentale) Passatwinde, wie bereits früher vorgeschlagen wurde.

Calcidiscus leptoporus (Murray und Blackman, 1898) Loeblich und Tappan, 1978 bildet während des LGMs in Kanaren Becken signifikant größere Coccolithen aus, besonders an Lokationen in der Umgebung von Cape Ghir, einer der heute bedeutendsten Auftriebsregionen. In der Literatur wird eine deutliche saisonale Variabilität in der Coccolithen-Grösse von *C. leptoporus* in Plankton Proben der Sargasso See belegt, die die größten Coccolithen im Winter ausweist, was ebenfalls, wenn auch in geringerem Masse, in Sedimentfallen der Kanaren beobachtet wird. Daher scheint ein relativer Anstieg der Häufigkeit großer Coccolithen mit einer möglichen Veränderung in der Saisonalität während des LGMs zusammen zu hängen. Dennoch ist eine weitere Untersuchung von Plankton Proben der Kanaren Inseln mit morphometrischen Methoden notwendig, um die heutige Grössenvariabilität im Einfluss von Azoren und Kanaren Strom besser zu verstehen.