

DISS. ETH Nr. 11005

**BIOGEOGRAPHY AND MORPHOLOGICAL VARIATION OF THE GENUS
GEPHYROCAPSA (PRYMNESIOPHYCEAE) TODAY AND DURING ITS
LATE PLEISTOCENE DOMINANCE INTERVAL**

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von:

Jörg Bollmann
Dipl. Geologe, Freie Universität Berlin

geboren am 26 Sept. 1962

BRD



Angenommen auf Antrag von:

H. R. Thierstein

Prof. Dr. H. R. Thierstein,
Prof. Dr. K. von Salis Perch-Nielsen,
Prof. Dr. P. Westbroek,

ETH Zürich,
ETH Zürich,
Uni. Leiden,

Referent
1. Korreferentin
2. Korreferent

Zusammenfassung

Einige Arten des marinen Phytoplanktons bilden sogenannte Algenblüten (Blooms) im Oberflächenwasser der Ozeane und dominieren während einiger Zeitintervalle in den Tiefseesedimenten. Die Erforschung der potentiellen Zusammenhänge zwischen dem Ozean — dem Klima — und dem marinen Phytoplankton ist von allgemeinem Interesse, da das marine Phytoplankton möglicherweise das globale Klima beeinflusst und bedeutend für den globalen Kohlenstoffkreislauf ist. Die Dominanz der einzelligen Kalkalge *Emilinia huxleyi* (Prymnesiophyceae), sowohl innerhalb des kalkigen Phytoplankton der heutigen Ozeane und als auch innerhalb der Tiefseesedimente, ist Gegenstand internationaler Forschung. Es gibt Hinweise, daß eine andere noch lebenden Coccolithophoride, *Gephyrocapsa* sp., in pleistozänen Tiefseeablagerungen vor 480'000 bis 280'000 Jahren global dominierte. Die vorliegende Arbeit dokumentiert die zeitliche und räumliche Ausbreitung dieses Dominanzereignisses und die globale Verteilung von *Gephyrocapsa* Morphotypen in holozänen Sedimenten, um die möglichen Ursachen der Dominanz aufzuzeigen und zu hinterfragen.

Die morphometrische Analyse von 3600 Coccolithen der Gattung *Gephyrocapsa* in 70 global verteilten holozänen Sedimentproben ergab durch Kombination der Merkmale, Länge und Brückenwinkel, sechs Morphotypen, die jeweils verschiedene biogeographische Regionen repräsentieren und deren Merkmale mit der Oberflächenwassertemperatur korrelieren.

Die relative Häufigkeit von *Gephyrocapsa* sp. innerhalb der Coccolithengemeinschaften von fünf global verteilten Tiefseekernen reicht während ihres Dominanzintervalls (480ka - 300ka) von 70% bis 99%. Die Dominanz begann in hohen nördlichen Breiten des Atlantischen Ozeans ca. 150ka früher als in niederen Breiten des westlichen pazifischen Ozeans und endete innerhalb von 30ka in allen Kernen.

Die morphologische Analyse von 2600 pleistozänen Placolithen der Gattung *Gephyrocapsa* belegt, daß nur zwei von sechs holozänen Assoziationen während des Dominanzintervalls auftreten. Diese beiden Morphotypen sind in holozänen Sedimenten auf die zentralen Wassermassen und den Übergang von subpolaren zu zentralen Wassermassen begrenzt.

Mindestens drei mögliche Ursachen könnten zur globalen Dominanz von nur zwei *Gephyrocapsa* Morphotypen geführt haben: Selektive Erhaltung der Morphotypen, globale Umweltveränderungen oder evolutive Entwicklung der Morphotypen.

Obwohl verstärkte Karbonatlösung während des Zeitraumes der Dominanz global in niederen Breiten beobachtet wurde, kann selektive Erhaltung von *Gephyrocapsa* sp. nicht die Ursache für die Dominanz der beiden Morphotypen sein. Morphologische Untersuchungen an Placolithen entlang eines Anlösungsprofils auf dem Ontong Java Plateau zeigten keine morphologischen Veränderungen mit zunehmender Karbonat-Anlösung.

Mit Hilfe der ökologischen Abhängigkeit der Morphologie der Gattung *Gephyrocapsa* wurde der Versuch unternommen die Paläo-Temperatur und Paläo-Produktivität zu rekonstruieren. Die resultierenden Paläotemperaturen in hohen nördlichen Breiten in den Interglazialen 9 bis 13 sind im Vergleich zu Heute bis zu 11-14°C erhöht und in niederen Breiten bis zu 5-11°C erniedrigt. Die Paläoproduktivität wäre generell in hohen Breiten und im äquatorialen Atlantik erniedrigt und im westlichen äquatorialen Pazifik erhöht.

Unabhängige Temperaturberechnungen basierend auf Foraminiferen-Transferfunktionen und kontinentalen Profilen deuten auf warme Interglaziale in hohen Breiten während des Dominanzintervalls. Kühle Interglaziale in niederen Breiten wurden nicht durch unabhängige Daten bestätigt. Als ein Hinweis auf erniedrigte Temperaturen im westlichen äquatorialen Pazifik könnten ungewöhnlich schwere $\delta^{18}\text{O}$ Werte von planktischen Foraminiferen und der Sediment-Fraktion kleiner 38 μm gesehen werden. Allgemein werden diese Werte verstärkter Karbonatlösung zugeschrieben, obwohl die Temperatur in 200m Wassertiefe entlang eines Anlösungsprofils auf dem NE Ontong Java Plateau mit der Karbonat-Anlösung korreliert ist. Weiterhin tritt eine weltweit beobachtete positive Exkursion der $\delta^{13}\text{C}$ Werte der Sedimentfraktion kleiner 38 μm auf, die möglicherweise Veränderungen der globalen Kohlenstoffreservoirs, veränderte Tiefenwasserzirkulation, veränderte Produktivität, Erhaltungseffekte oder einfach Vitaleffekte der *Gephyrocapsa* darstellen. Das gleichzeitige Auftreten dieser Exkursion in einigen tiefliebenden planktischen Foraminiferen deutet eher auf lokale Veränderungen der Thermoklinenstruktur hin.

Die unrealistischen Paläo-Temperaturen der *Gephyrocapsa*-Morphologie deuten auf evolutiv veränderte ökologische Präferenzen der beiden dominierenden Morphotypen hin. Die Möglichkeit, daß die Morphologie der Gattung *Gephyrocapsa* von anderen Parametern als der Oberflächentemperatur und Produktivität abhängig ist (z.B. globale Veränderungen der Thermokline) muß in zukünftigen Untersuchungen überprüft werden.

Abstract

Certain species of marine calcareous phytoplankton are known to occur in blooms in today's ocean surface and to have formed dominance intervals in the geological past. Interest in the study of marine phytoplankton—ocean—climate interactions has increased because of the potential influence of phytoplankton on global climate and on the global cycling of carbon compounds. In an international research effort, the dominance of *E. huxleyi* (Prymnesiophyceae) in the plankton and sediments of today's oceans is being studied. There is evidence that in the late Pleistocene another living coccolithophore, *Gephyrocapsa* sp., was globally dominant for an extended period of time (480'000-260'000 years ago). Here I report on that dominance interval and on the current global distribution of *Gephyrocapsa* and its morphotypes in an attempt to better understand the potential causes of such events.

Morphological analyses of 3600 placoliths in 70 globally distributed Holocene sediment assemblages revealed six distinct morphotypes, each defined by two parameters: coccolith length and bridge angle. These six morphological associations show distinct biogeographic patterns and the two parameters can be shown to correlate with temperature.

Coccolith counts in five widely distributed deep sea cores show that *Gephyrocapsa* sp. globally accounted for 70-99 % of all placoliths deposited during the mid-Brunhes interval (480-260ka). The beginning of this dominance started about 150ka earlier in the northern North Atlantic (633ka) than in the Western Equatorial Pacific (484ka). The end of the interval occurred within a short time period (~30ka).

Morphological analyses of 2600 late Pleistocene placoliths of genus *Gephyrocapsa* show that only two of the six recent morphological associations occurred during the dominance interval. In Holocene sediments these two morphotypes are restricted to the central gyre and transitional regions.

There are at least three hypothetical causes to be evaluated why this dominance occurred: selective preservation of *Gephyrocapsa* sp., a changed global environment, or evolutionary causes.

Although enhanced carbonate dissolution was widely documented in low latitude during the time period of dominance, selective preservation of the two dominant morphotypes can be excluded as a major cause for the dominance. Morphological analysis along a dissolution profil on the Ontong Java Plateau showed no morphological change with increasing dissolution.

The present-day dependence of *Gephyrocapsa* morphology on surface water temperature and fertility was used to reconstruct the appropriate paleoenvironments. Interglacial paleotemperature estimates (stage 9, 11, 13) suggest up to 11-14°C elevated temperatures in high northern latitudes and up to 5-11°C lowered temperatures in low latitude. In general, the estimates of the productivity suggest lower productivity during the dominance interval in the North and East Atlantic and higher productivity in the western Equatorial Pacific than today.

Warm mid-Brunhes interglacials at high latitudes are supported by temperature estimates derived from planktic foraminifera, high carbonate contents and temperature estimates from continental records. A cooling in equatorial regions, however, was not generally observed, but may be indicated by positive $\delta^{18}\text{O}$ values of planktic foraminifera and the fine fraction in the Western Equatorial Pacific. Nevertheless, increased $\delta^{18}\text{O}$ values of planktic foraminifera and the fine fraction during the dominance interval are generally thought to reflect increased dissolution, although today's temperatures at 200m water depth covary along a dissolution profile on the NE-Ontong Java Plateau with $\delta^{18}\text{O}$ values of planktic foraminifera, with $\delta^{18}\text{O}$ values fine fraction and with dissolution. Furthermore, the *Gephyrocapsa* dominance interval coincides with a globally observed positive shift of the $\delta^{13}\text{C}$ values of the fine fraction that might reflect changes in the global carbon reservoirs, circulation changes, productivity changes, preservation changes, or simple vital effects of *Gephyrocapsa* sp. The occurrence of this excursion in some planktic foraminifera suggests that the excursion might reflect changes in the $\delta^{13}\text{C}$ signature of local subsurface waters (e.g. changes of the thermocline).

Unrealistic temperature estimates obtained from *Gephyrocapsa* morphology-based transfer-functions suggest that the two morphotypes may have responded to different environmental parameters than today. The possibility of morphological dependence from environmental parameters, other than surface water temperature and fertility, needs to be tested in future studies. There are some indications that *Gephyrocapsa* morphotypes may have responded to global changes in the depth of the thermocline. The non-analogue responses, however, make it appear likely that the *Gephyrocapsa* morphotypes have changed their environmental dependencies and preferences through evolutionary processes.