

DISS. ETH NO. 24175

**PALEOCEANOGRAPHIC RECONSTRUCTION OF NITRATE CONSUMPTION IN  
THE ATLANTIC OCEAN USING FORAMINIFERA-BOUND NITROGEN ISOTOPES**

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZÜRICH  
(Dr. Sc. ETH Zürich)

presented by

LUKAS EMANUEL OESCH

MSc ETH in Atmospheric and Climate Sciences, ETH Zürich

born on 09.08.1984

citizen of Oberlangenegg (BE)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Gerald H. Haug	– ETH Zürich	– examiner
Prof. Dr. Daniel M. Sigman	– Princeton University	– co-examiner
Prof. Dr. Timothy I. Eglinton	– ETH Zürich	– co-examiner
Prof. Dr. Peter B. de Menocal	– Columbia University	– co-examiner

2017

## Abstract

Within the last few decades, evidences emerged that the marine biological production is one of the factors controlling Earth's climate. Changes in the efficiency of the marine biological pump are able to alter the interaction between the large deep ocean carbon reservoir and the atmosphere, affecting the climate within the past 2.7 Million years. With respect to the current anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions and its implications on the global climate, it is vital to understand the nature of such climate transitions. Studying the nutrient cycling in the oceans and its link to the carbon cycle helps to improve the understanding of feedback effects and dynamic processes in a rapidly changing biogeochemical system.

Biological available nitrogen, the limiting nutrient in vast parts of the surface ocean, features substantial variations in the net-budget and internal cycling during Earth's recent past. In this thesis, the sedimentary archives of planktonic foraminifera and deep-sea corals are used to reconstruct changes in the ratio of stable nitrogen isotopes ( $\delta^{15}\text{N}$ ) of thermocline nitrate in the Atlantic. The processes affecting the nitrate  $\delta^{15}\text{N}$  include preferred assimilation of the lighter isotope by phytoplankton in regions with incomplete nutrient consumption. Thus, the assessment of  $\delta^{15}\text{N}$  reveals information about the efficiency of carbon sequestration by the biological pump.

The aim of this thesis is to reconstruct nutrient cycling in the Atlantic high productive regions and to assess the high latitude influence on low latitude biogeochemistry. For this, foraminifera-bound  $\delta^{15}\text{N}$  was measured on the sediment of the tropical Atlantic core ODP 662 throughout the last two glacial cycles (160 kyr BP - today) and around the Plio-Pleistocene transition (2.9 - 2.4 Myr BP). Further, deep-sea coral-bound  $\delta^{15}\text{N}$  (CB- $\delta^{15}\text{N}$ ) was measured on corals from the Reykjanes Ridge located on a transect through the North Atlantic Subpolar Gyre.

We found that the nitrate regime in the low latitude Atlantic of the last two glacial cycles was substantially different than across the Plio-Pleistocene transition. Thermocline nitrate  $\delta^{15}\text{N}$  during the last 160 kyr was mainly influenced by nutrient cycling processes in the Southern Ocean. The proposed mechanism shows that low latitude nitrate  $\delta^{15}\text{N}$  is most likely governed by an interaction between the preformed nitrate  $\delta^{15}\text{N}$  and the nitrate concentration within Subantarctic Mode Water. In the course of the Plio-Pleistocene transition we observe an onset of 41 kyr cycles in FB- $\delta^{15}\text{N}$  at 2.65 Myr BP, paced by Earth's obliquity. The FB- $\delta^{15}\text{N}$  cycles are interpreted as periods with incomplete nitrate consumption in the equatorial Atlantic coinciding with very high productivity, which indicates that the nutrient supply to Site 662 was greatly enhanced compared to modern values. Further, we explain the generally lower  $\delta^{15}\text{N}$  during the early Pleistocene to result from the lower Southern Ocean productivity during this time.

The CB- $\delta^{15}\text{N}$  data from the North Atlantic reflect well the predicted  $\delta^{15}\text{N}$  export through the area of incomplete nitrate consumption within the Subpolar Gyre. They confirm the potential of CB- $\delta^{15}\text{N}$  to be used as a proxy for the level of surface nitrate consumption. According to our observations, it is possible to reconstruct the position of the Subpolar Gyre in the course of the North Atlantic Oscillation by the means of CB- $\delta^{15}\text{N}$  throughout the Holocene.

The results of this thesis reveal the high degree of interdependences between the different latitudes. Low latitude nitrogen cycling in the Atlantic is highly linked to the Southern Ocean through the northwards flow of Subantarctic Mode Water. With regard to the known extent of Subantarctic Mode Water on nearly the entire global intermediate depths, possible teleconnections to equatorial upwelling systems in the Pacific and coastal upwelling systems off South America and Africa emerge.

## Zusammenfassung

In den letzten Jahrzehnten verdichteten sich die Hinweise darauf, dass Nährstoffkreisläufe einen erheblichen Einfluss auf die Zusammensetzung der Atmosphäre und das globale Klima der letzten 3 Mio. Jahre hatten. Die Effizienz, mit der die biologische Primärproduktion  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre bindet und in die Tiefsee transportiert, ist hauptverantwortlich für die eiszeitlichen Schwankungen der  $\text{CO}_2$  Konzentration in der Atmosphäre. Im Hinblick auf die aktuellen anthropogenen  $\text{CO}_2$  Emissionen und deren Auswirkungen auf das Klima, ist es von grossem Interesse dieses System und dessen Rückkopplungsmechanismen zwischen dem marinen Nährstoffkreislauf und dem Kohlenstoffkreislauf zu untersuchen um die dynamischen Prozessen in einem sich schnell verändernden biogeochemischen System zu verstehen.

Biologisch verfügbarer Stickstoff ist in grossen Teilen des Ozeans der limitierende Nährstoff. Die Zu- und Abnahme dieser Stickstoffwerte sowie die Prozesse dieses Kreislaufs können durch die Analyse des Verhältnisses zwischen den stabilen Isotopen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) rekonstruiert werden. Die direkte  $\delta^{15}\text{N}$  Messung im Sediment wird jedoch erschwert durch terrigenes Material und diagenetische Prozesse, welche das  $\delta^{15}\text{N}$  im Sediment beeinflussen können. Die vorliegende Arbeit untersucht das  $\delta^{15}\text{N}$  von organischer Materie, welche in den Kalkschalen von planktischen Foraminiferen eingebaut wurde (Foraminifera-Bound  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) und hermetisch versiegelt am Meeresboden sedimentierte. Weiter haben wir  $\delta^{15}\text{N}$  an organischer Materie gemessen, welche in die Skelettstruktur von Tiefseekorallen eingelagert wurde. Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Nährstoffkreislauf in der Region der atlantischen äquatorialen Auftriebsregion zu untersuchen und den Einfluss des subpolaren und polaren biologischen Systems auf die Tropen zu bestimmen. Wir haben für die letzten zwei Glazialzyklen (160'000 Jahre vor Heute) und während des Plio-Pleistozän Übergangs (2.9 - 2.4 Millionen Jahre) FB- $\delta^{15}\text{N}$  im Sediment des tropischen atlantischen Bohrkerns ODP662 gemessen. Des Weitern wurde Coral-Bound  $\delta^{15}\text{N}$  (CB- $\delta^{15}\text{N}$ ) an 43 Tiefseekorallen auf dem Reykjanes-Ridge südlich von Island auf einem Transekt durch den subpolaren Wirbel gemessen, um so die Nutzung von Tiefseekorallen zur Rekonstruktion der kurzzeitigen Schwankungen (10-100 Jahre) der biologischen Produktion an der Oberfläche zu validieren.

Unsere Resultate zeigen, dass das Nitrat-Regime im tropischen Atlantik in den letzten 160'000 Jahre signifikant variiert hat vom Regime während des Plio-Pleistozän-Übergangs. Während der letzten zwei Glazialzyklen wurde das tropische thermokline Nitrat  $\delta^{15}\text{N}$  vor allem durch Prozesse im südlichen Ozean bestimmt und durch das Subantarctic Mode Water in die Tropen transportiert. Im Laufe des Plio-Pleistozän-Übergangs konnte das Einsetzen von FB- $\delta^{15}\text{N}$ -Zyklen mit der Periodizität von 41'000 Jahre beobachtet werden, welche der bekannten orbitalen Variation der Schiefe der Erdachse folgen. Die tiefen FB- $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in Zeiten hoher Primärproduktion interpretieren wir als Perioden mit unvollständigem Nitratverbrauch im äquatorialen Atlantik. Dies belegt, dass die Nährstoffversorgung im Vergleich zu heute stark erhöht war. Die CB- $\delta^{15}\text{N}$ -Daten aus dem Nordatlantik widerspiegeln den prognostizierten  $\delta^{15}\text{N}$ -Export in den Gebieten mit unvollständigem Nitratverbrauch innerhalb des subpolaren Wirbel. Es zeigte sich, dass CB- $\delta^{15}\text{N}$  eine geeignete Methode darstellt, um die Position des subpolaren Wirbel und somit des Zustand der Nordatlantischen Oszillation während des Holozäns zu rekonstruieren.