



Doctoral Thesis

## **Carbonate platform development of Northeast Australia the importance of paleoceanographic and environmental change**

**Author(s):**

Isern, Alexandra Regina

**Publication Date:**

1993

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000916305> →

**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](#).

**CARBONATE PLATFORM DEVELOPMENT OFF  
NORTHEAST AUSTRALIA: THE IMPORTANCE OF  
PALEOCEANOGRAPHIC AND ENVIRONMENTAL CHANGE**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

Presented by:  
**Alexandra Regina Isern**

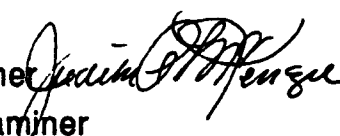
Masters of Science in Oceanography (MSc)  
University of Rhode Island, U.S.A.

Bachelors of Science in Geology (BSc)  
University of Florida, U.S.A.

Born February 6, 1966

Accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. J. A. McKenzie, ETH Zürich  
Prof. Dr. K. J. Hsü, ETH Zürich  
Prof. Dr. H. Elderfield, Cambridge University, U. K

Examiner   
Co-examiner  
Co-examiner

1993

## ABSTRACT

An oxygen and carbon isotope stratigraphy for deep-sea sediments deposited on the slopes of the Queensland Plateau off the northeast Australian margin was generated to study the influence of paleoceanography on the evolution of this isolated carbonate platform from the late Miocene (~10 Ma) to Recent. In order to evaluate changes in the structure of the water column, foraminifera were used to obtain stable isotope data representing surface (*G. ruber*), intermediate (*G. menardii*) and bottom-water (*Cibicidoides* spp.) conditions. Three sites were isotopically analysed; DSDP Leg 21, Site 209 on the eastern edge of the Queensland Plateau and ODP Leg 133 Sites 811 on the western margin and 817 on the lower southern slope. Isotopic data were also obtained from recent gravity core sediments taken at the same location as Site 811. Water column geochemical studies were undertaken on a transect of the Queensland Trough to understand the nutrient dynamics of the region and to define the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  gradient and interpret of  $\delta^{13}\text{C}$  variations seen in the long-term carbon isotopic record from the sediments.

Oxygen isotope data show that there have been significant variations in surface-water temperatures, which correlate well with changes in the sedimentary facies drilled on the Queensland Plateau. Calculated isotopic temperatures indicate that surface-water values have varied by 10°C or more since the Miocene. The good correlation of the oxygen isotopic data with sedimentary facies indicates that surface-water temperatures may have been critical for carbonate platform development off northeast Australia and confirms the importance of paleoceanographic conditions on reef growth. These findings are significant for climatic models, as it is often thought that surface-water temperatures in the tropics have not varied by more than 2° to 3°C during the Neogene (Matthews and Poore, 1980).

Changes in surface-water temperature can be correlated with variations in the thermal structure of the upper water column (0-150 m), as shown by oxygen isotopic values of surface and deeper-dwelling planktonic foraminifera. It is proposed that latitudinal movements of the South-Tropical Convergence (STC) Zone, which forms the modern oceanographic boundary between warmer equatorial waters and 3° to 5°C cooler waters to the south, caused the observed paleoceanographic fluctuations. In addition to being a temperature

boundary, downwelling at the STC Zone causes a thickening of the surface mixed layer.

Presently, the STC Zone is to the south of the study area (18°-19°S), and, thus, water temperatures over the Queensland Plateau are warm (~28°C) and the water column is thermally stratified. In contrast, temperatures calculated from oxygen isotopic data show intervals in the past, particularly in the late Miocene, when water temperatures in the upper 150 m of the water column showed no gradient and surface-waters were generally cooler. It is proposed that during these periods, the STC Zone, with its homogeneous well-mixed upper water column, was centered over the Queensland Plateau, allowing cooler waters to enter from the south and flow across the platform. In contrast, during times where surface water temperatures were warmer or increasing such as in the early Pliocene and Quaternary, the upper water column shows a temperature gradient of up to 5°C, similar to the modern environment. A more southerly location of the STC Zone is most likely to represent these times.

Movement of the STC Zone over time is also supported by foraminiferal  $\delta^{13}\text{C}$  data. During intervals where the STC Zone overlaid the Queensland Plateau, the gradient of  $\delta^{13}\text{C}$  in the water column was nearly constant as a result of downwelling. In intervals where the STC Zone was to the south, as in the modern environment, a greater  $\delta^{13}\text{C}$  difference between surface and bottom waters is seen. Downwelling also appears to affect the degree to which surface water  $\Sigma\text{CO}_2$  equilibrates with the atmosphere. When downwelling is dominant, circulation is more vigorous, and the surface water  $\delta^{13}\text{C}$  signal is dominated by biological productivity. At times when the Queensland Plateau was not influenced by downwelling, surface water flow was less vigorous, and, therefore, surface waters are better able to equilibrate with the atmosphere resulting in lighter  $\delta^{13}\text{C}$  values than predicted, if productivity were the dominant influence.

Movements of the STC Zone are due to variations in the strength of regional South Pacific circulation which are directly related to the latitudinal thermal gradient. When latitudinal thermal gradients are greater, circulation is stronger and the STC Zone will move to the south. When latitudinal thermal gradients are less and circulation strength is reduced, the STC Zone will move to the north and thus be centred over the study area. These circulation changes not only provide a logical explanation for the changes in the thermal structure of the water column and surface-water temperature but, as the movement of the STC Zone is likely to be linked to regional paleoceanographic

variations, it explains that fact that local surface-water temperature changes are, in general, correlated to, but greater in magnitude, than those elsewhere in the South Pacific.

The results of this study demonstrate that paleoceanography can be an important determining influence on the productivity of tropical carbonate systems and, thus, assert a strong control on the development of isolated carbonate platforms. The importance of changes in paleocirculation should be considered when studying ancient platforms. This study also shows that tropical surface-water temperatures may not remain stable throughout time but can experience significant changes driven by climatic variations. Thus, paleoceanographic factors must be given equal consideration with tectonics and eustatic sea level when considering the dominant factors controlling ancient carbonate platform evolution.

## ZUSAMENFASSUNG

Die Stratigraphie mit Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen in spätmiozänen bis rezenten Abhangsedimenten des Queensland Plateaus am nordostaustralischen Kontinentalrand dokumentiert den Einfluss der Paläozeanographie auf die Entwicklung dieser isolierten Karbonatplattform. Veränderungen im Aufbau der Wassersäule wurden anhand der Isotopenwerte der Foraminiferen *G. ruber* (Oberflächenwasser), *G. menardii* (mittlere Wassertiefen) und *Cibicidoides* spp. (Tiefenwasser) rekonstruiert. Die Isotopenwerte von drei Lokalitäten wurden analysiert: DSDP Leg 133, Site 209 am östlichen Rand des Queensland Plateaus sowie zwei Sites des ODP Leg 133, nämlich Site 811 am westlichen Rand und Site 817 am unteren südlichen Abhang. Weitere Isotopendaten konnten von rezenten Sedimenten aus Kurzkernen erhalten werden, die an Site 811 entnommen wurden. Geochemische Untersuchungen innerhalb der Wassersäule wurden entlang eines Profils des Queensland Troges durchgeführt. Dies fördert das Verständnis der regionalen Dynamik der Nährstoffe und ermöglicht sowohl die Definition des  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  Gradienten als auch die Interpretation der langfristigen  $\delta^{13}\text{C}$  Variationen, die in den Sedimenten archiviert sind.

Die gemessenen Sauerstoffisotopen lassen auf grosse Schwankungen in der Temperatur des Oberflächenwassers schliessen. Dies stimmt gut mit den Variationen der sedimentären Fazies überein, die auf dem Queensland Plateau erbohrt wurden. Die anhand der Isotopen berechneten Temperaturen des Oberflächenwassers zeigen seit dem Miozän Schwankungen von zehn Grad und mehr. Die gute Korrelation der Sauerstoffisotopenwerte mit der sedimentären Fazies weist auf den Zusammenhang zwischen der Temperatur des Oberflächenwassers und der Entwicklung der Karbonatplattform in Nordostaustralien hin und bestätigt den starken Einfluss der paläozeanographischen Verhältnisse auf das Riffwachstum. Diese Ergebnisse sind für klimatische Modelle von grosser Bedeutung, da oft angenommen wird, dass die Temperaturen des tropischen Oberflächenwassers während des Neogens um lediglich zwei bis drei Grad Celsius variierten (Matthews and Poore, 1980).

Die Sauerstoffisotopenwerte der planktonischen Foraminiferen aus dem Oberflächenwasser und aus tieferen Zonen zeigen, dass die Veränderungen in der Temperatur des Oberflächenwassers mit Variationen im thermischen

Aufbau der oberen Wassersäule (0-150 m) korreliert werden können. Es wird postuliert, dass die latitudinalen Bewegungen der sudtropischen Konvergenz (STK) Zone zu den beobachteten paläozeanographischen Schwankungen führt. Diese STK Zone bildet die heutige ozeanographische Grenze zwischen dem wärmeren äquatorialen Wasser und dem drei bis fünf Grad kälteren Wasser im Süden. Neben dem Temperaturunterschied kann an der STK auch eine Verdickung der oberflächlichen Mischzone beobachtet werden, die durch absinkende Strömungen verursacht wird.

Zur Zeit liegt die STK Zone südlich des Untersuchungsgebietes (18-19° S), was über dem Queensland Plateau zu warmen Wassertemperaturen (28°) und zu einer thermisch stratifizierten Wassersäule führt. Im Gegensatz dazu dokumentieren die durch Sauerstoffisotopen berechneten Temperaturen Perioden in der Vergangenheit, im speziellen während des oberen Miozäns, in denen die oberen 150 m der Wassersäule keinen Temperaturgradienten und im allgemeinen tiefere Temperaturen aufwiesen. Während dieser Perioden, so wird vermutet, lag die STK Zone mit ihrer homogenen und gut durchmischten oberen Wassersäule über dem Queensland Plateau und ermöglichte kühlerem Wasser aus dem Süden über die Plattform zu fließen. In Zeiten wärmerer oder ansteigender Temperaturen im Oberflächenwasser hingegen, so z. Bsp. im unteren Pliozän oder im Quartär, weist die obere Wassersäule einen Temperaturgradienten von bis zu fünf Grad auf, ein Wert, der auch heute noch gemessen wird. Während dieser Perioden lag die STK wahrscheinlich weiter im Süden.

Die Bewegungen der STK Zone über verschiedene Zeiträume werden ebenfalls durch  $\delta^{13}\text{C}$  Daten von Foraminiferen bestätigt. In Zeiten, in denen die STK Zone über dem Queensland Plateau liegt, ist der Gradient des  $\delta^{13}\text{C}$  als Folge der Sinkströmungen nahezu konstant. In Perioden wie heutzutage, in denen sich die STK Zone weiter im Süden befindet, kann ein grösserer Unterschied zwischen den  $\delta^{13}\text{C}$  Werten der Oberflächen- und Tiefenwässer festgestellt werden. Die Sinkströmungen scheinen auch den Grad zu beeinflussen, bis zu welchem sich das  $\text{CO}_2$  des Oberflächenwassers mit der Atmosphäre ausgleicht. Sind diese absinkenden Strömungen dominant, so ist die Zirkulation stark und das  $\delta^{13}\text{C}$  des Oberflächenwassers wird durch biologische Produktivität bestimmt. Wird das Queensland Plateau nicht durch diese Sinkströmungen beeinflusst, so ist die Oberflächenzirkulation schwächer und das Oberflächenwasser ist demnach besser mit der Atmosphäre ausgeglichen. Verglichen mit den Werten, die für den Fall erwartet werden,

dass Produktivität der entscheidender Faktor ist, führt dies zu leichteren  $\delta^{13}\text{C}$  Werten.

Die Bewegungen der STK Zone werden durch Schwankungen in der Intensität der regionalen südpazifischen Zirkulation verursacht, welche direkt vom latitudinalen Temperatur Gradienten abhängt. Ist dieser Gradient hoch, ist die Zirkulation stärker und die STK wird sich nach Süden verschieben. Sind der breitenabhängige thermische Gradient und die Zirkulation gering, so schiebt sich die STK Zone gegen Norden und liegt so über dem Untersuchungsgebiet. Da die Bewegungen der STK Zone wahrscheinlich mit den regionalen paläozeanographischen Variationen zusammenhängen, erklären die Zirkulationsänderungen nicht nur den thermischen Aufbau der Wassersäule und die Temperatur des Oberflächenwassers, sondern erklären auch, dass die Temperaturschwankungen des lokalen Oberflächenwassers, wenn auch grösser in Magnitude, mit den Temperaturschwankungen des restlichen Südpazifiks zusammenhängen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Paläozeanographie ein wichtiger bestimmender Faktor der Produktivität tropischer Systeme sein kann und deshalb die Entwicklung von isolierten Karbonatplattformen stark beeinflusst. Bei der Untersuchung fossiler Plattformen sollten die Variationen der Paläozirkulation berücksichtigt werden. Diese Arbeit zeigt auch, dass die Temperaturen des tropischen Oberflächenwassers zeitlich nicht konstant sein müssen, sondern dass sie bedeutende Variationen aufweisen können, die durch klimatische Schwankungen verursacht werden. Deshalb sollte beim Studium der für die Entwicklung fossiler Karbonatplattformen kontrollierenden Parameter den paläo-ozeanographischen Faktoren die gleiche Bedeutung zugemessen werden, wie den tektonischen und eustatischen Meeresspiegelschwankungen.