

**Habitat and geochemical
characterization of
living planktonic foraminifera
in the Caribbean**

Dissertation

**zur Erlangung des Doktorgrades
Dr. rer. nat.**

**der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

**vorgelegt von
Anna Jentzen**

Kiel, 2016

Erster Gutachter: Prof. Dr. Dirk Nürnberg
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Martin Frank
Tag der mündlichen Prüfung: 24.02.2017
Zum Druck genehmigt: 24.02.2017

gez. Prof. Dr. Natascha Oppelt, Dekanin

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation, abgesehen von der Beratung durch meine Betreuer, selbstständig und nur mit Hilfe der angegebenen Quellen und Hilfsmittel erstellt habe. Ferner versichere ich, dass der Inhalt dieser Arbeit weder in dieser, noch in veränderter Form, im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht wurde. Diese Arbeit ist unter Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft entstanden.

Kiel, 20.12.2016

Anna Jentzen

Contents

Abstract	v
Kurzfassung	vii
1. Introduction	
1.1 Motivation and main objectives of the study	1
1.2 Declaration of contribution	3
1.3 Planktonic foraminifera	5
1.4 Temperature proxies in foraminiferal tests ($\delta^{18}\text{O}$ and Mg/Ca)	6
2. Habitats of living planktonic foraminifera in the Caribbean	
Abstract	9
2.1 Introduction	10
2.2 Hydrography	11
2.3 Material and Methods	12
2.4 Results	15
2.4.1 Hydrographical conditions during the sampling campaign	15
2.4.2 Plankton faunal analysis	17
2.4.2.1 Distribution of dominant planktonic species	17
2.4.2.2 Distribution of common planktonic species	18
2.4.2.3 Sediment faunal analysis	23
2.5 Discussion	25
2.5.1 Distribution pattern of planktonic foraminifera in relationship to environmental parameters	25
2.5.2 Species specific habitat and life cycle	28
2.5.2.1 Surface dwellers (above the thermocline)	28
2.5.2.2 Deep dwellers (below the mixed layer)	33
2.6 Summary and conclusion	38
Acknowledgements	39
Plates 1-3	40
3. Mg/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ in living planktonic foraminifera from the Caribbean, Gulf of Mexico and Florida Straits	
Abstract	47
3.1 Introduction	48
3.2 Material and Methods	49
3.2.1 Sampling and preparation of planktonic foraminifera	49
3.2.2 Stable isotope analyses	53
3.2.3 Mg/Ca analyses	58
3.2.4 Calculation of $\delta^{18}\text{O}_{\text{seawater}}$	59

3.2.5 Calcite dissolution	60
3.3 Results and Discussion	60
3.3.1 Hydrographical setting during sampling	60
3.3.2 Vital effects on foraminiferal $\delta^{18}\text{O}_{\text{calcite}}$	62
3.3.2.1 Symbionts and life cycle effect on foraminiferal $\delta^{18}\text{O}$	62
3.3.2.2 The $\delta^{18}\text{O}$ offset between living and fossil foraminiferal specimens	65
3.3.3 Mg/Ca-based ocean temperature assessment from living foraminifera	68
3.3.3.1 (Facultative) symbiont bearing species	72
3.3.3.2 Non-symbiont bearing species	75
3.3.4 $\delta^{18}\text{O}_{\text{seawater}}$ relationship	75
3.4 Conclusions	76
Acknowledgements	77
4. Short and long-term dynamics of planktonic foraminiferal assemblages off Puerto Rico (Caribbean Sea)	
Abstract	79
4.1 Introduction	80
4.2 Regional settings	81
4.3 Material and Methods	82
4.3.1 Sample collection	82
4.3.2 Preparation of the samples	83
4.3.3 Analyses of stable isotopes	84
4.4 Results	84
4.4.1 Seawater properties during sampling	84
4.4.2 Foraminiferal assemblage in plankton net hauls	86
4.4.2.1 Overview	86
4.4.2.2 Depth distribution pattern of foraminifera	86
4.4.3 Stable isotopes of <i>Globigerinoides ruber</i> (pink) and the ambient seawater	90
4.5 Discussion	90
4.5.1 The autumn planktonic foraminiferal assemblage	90
4.5.2 Decline of <i>Globigerinoides ruber</i> (white) - A long term observation	92
4.5.3 Spatial distribution - The influence of the shelf and benthic species	94
4.5.4 Stable oxygen isotope signal	95
4.5.5 Hurricane "Sandy" - A storm affects the foraminiferal assemblage	95
4.6 Summary and conclusion	97
Acknowledgements	98
5. Predators of living planktonic foraminifera	99

6. Summary and Outlook	101
References	105
Appendix	
A Supplementary information of Chapter 2	121
B Supplementary information of Chapter 3	153
C Mg/Ca LA-ICP-MS profiles	163
D Supplementary information of Chapter 4	171
E Stable carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C}$)	177
F Plates 4-5	182
G Ph.D. Publication and presentations	184
Danksagung	185

Abstract

Planktonic foraminifera are unicellular organisms that precipitate their calcite tests from the seawater in which they live. The distribution patterns of species, as well as the trace elemental and isotopic composition of the tests, reflect the environmental conditions of the ambient seawater. Thus, fossil tests of planktonic foraminifera from sediments are widely used to reconstruct past ocean temperature and salinity variations. Studies on living planktonic foraminifera collected under natural conditions are essential for the interpretation of fossil data assessing the relationship between living specimens and *in-situ* ocean parameters. This study focused on the habitat patterns of tropical and subtropical living foraminifera and the isotopic ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) and Mg/Ca compositions of their tests. Plankton net samples were collected from the surface to a maximum 400 m water depth in the Caribbean Sea, Gulf of Mexico, Florida Straits and Santaren Channel. The data of living specimens were related to ambient seawater conditions (temperature, salinity, chlorophyll concentration and $\delta^{18}\text{O}_{\text{seawater}}$) and compared to fossil tests retrieved from the underlying surface sediments.

Foraminiferal census data indicate that living planktonic foraminiferal assemblage compositions have a strong relationship to seawater temperatures. Species-specific living depths were determined, and single species point to an ontogenetic migration within the water column. In spring 2009, a high standing stock was observed in the eastern Caribbean Sea close to a transient mega-patch of high chlorophyll concentrations. In contrast, high turbidity with low salinity was likely responsible for the sparseness of planktonic foraminifera in the Gulf of Paria and close to the Orinoco river plume. The species compositions of the living assemblages are similar to the fossil assemblages from underlying surface sediments, indicating no major change over the last millennia. Exceptions are the observed decline of *Globigerinoides ruber* (white) since the late 1990s off the coast of Puerto Rico, and a large number of *Globorotalia unguolata* in the Florida Straits in spring 2009, indicating a unique seasonal occurrence or a distinct increase in its population density. Further, different proportions in the foraminiferal assemblage composition point to seasonal fluctuations in the abundances of single species, probably related to riverine outflow, i.e. variable nutrient input, or temperature variability. Beside these seasonal effects, the study also shows that short storm events, in particular hurricanes, affect the habitat of planktonic foraminiferal populations over several days.

Analyses of stable oxygen isotope compositions and Mg/Ca ratios of planktonic foraminifera show that temperature strongly influences the isotopic fractionation of oxygen and the incorporation of Mg²⁺ in foraminiferal tests. In general, increasing $\delta^{18}\text{O}$ values and decreasing Mg/Ca ratios are related to lower *in-situ* temperatures of the ambient seawater. Mg/Ca-values from *Globigerinoides sacculifer* in fossil tests are seasonally biased. In the Caribbean Sea, the Mg/Ca-temperature of *G. sacculifer* point to a high accumulation rate of empty tests on the seafloor in early spring, and in the Florida Straits later in the year, most likely in May. Combined $\delta^{18}\text{O}$ and Mg/Ca in foraminiferal tests was used to estimate $\delta^{18}\text{O}$ of the seawater, which is used as proxy for seawater salinity. The surface dweller *G. sacculifer* shows a positive linear relationship between the estimated $\delta^{18}\text{O}_{\text{seawater}}$ and *in-situ* $\delta^{18}\text{O}_{\text{seawater}}$ as well as salinity. However, the study also indicates that “vital effects” due to symbiont activity and test-growth strongly influence the isotopic fractionation of oxygen and the incorporation of Mg²⁺ in foraminiferal tests. Negative disequilibrium values between the ambient seawater and $\delta^{18}\text{O}$ of foraminiferal tests indicate most likely symbiont activity. Mg/Ca compositions reveal a large scatter in samples of living specimens. It might be related to high and low Mg²⁺ bands across single chambers and point to a variable incorporation of Mg²⁺ during the calcification process.

Kurzfassung

Planktonforaminiferen sind einzellige Lebewesen, die ein Gehäuse aus Kalzit bilden. Sowohl die Artenverteilung im Ozean als auch die Zusammensetzung der stabilen Isotope und Spurenelemente in den Gehäusen reflektieren die Umweltparameter im umgebenden Meerwasser. Aus diesem Grund werden fossile Planktonforaminiferen aus Sedimenten weltweit genutzt, um Temperatur- und Salinitäts-Schwankungen der Ozeane in der geologischen Vergangenheit zu rekonstruieren. Untersuchungen an lebenden Planktonforaminiferen, welche in ihrer natürlichen Umgebung gesammelt werden, sind essenziell für die Interpretation fossiler Daten, da sie den Zusammenhang zwischen lebenden Foraminiferen und *in-situ* gemessenen Umweltparametern widerspiegeln. Diese Studie befasst sich mit den Habitaten von lebenden tropischen und subtropischen Foraminiferen und untersucht die stabilen Isotopen ($\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$) und Mg/Ca-Verhältnisse in den Gehäusen. Das Untersuchungsgebiet umfasst die Karibik, den Golf von Mexiko, die Florida Straße und den Santaren Channel. Plankton-Netzfänge wurden an der Oberfläche bis zu maximal 400 m Wassertiefe durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit den Umgebungsparametern im Meerwasser (Temperatur, Salinität, Chlorophyll-Konzentration und $\delta^{18}\text{O}$) sowie den fossilen Foraminiferen aus Oberflächensedimenten naheliegender Stationen verglichen.

Die Zählraten von lebenden Planktonforaminiferen zeigen einen starken Zusammenhang zwischen der Artenzusammensetzung und der umgebenden Wassertemperatur. Artenspezifische Habitattiefen konnten ermittelt werden. Einzelne Arten weisen auf eine ontogenetische Migration innerhalb der Wassersäule hin. Im Frühling 2009 wurde in der östlichen Karibik entlang eines Meeresgebietes mit hoher Chlorophyll-Konzentration im Oberflächenwasser eine hohe Populationsdichte von Foraminiferen gefunden. Im Gegensatz dazu war eine starke Trübung des Wassers im Zusammenspiel mit niedrigeren Salzgehalten im Golf von Paria und vor der Orinoco Mündung der wahrscheinlichste Grund für eine verringerte Populationsdichte. Die Artenzusammensetzung der lebenden und fossilen Foraminiferenvergesellschaftung ist sehr ähnlich und weist darauf hin, dass es keine wesentliche Veränderung in den letzten tausend Jahren gegeben hat. Ausnahmen bilden ein Rückgang in der Populationsdichte von *Globigerinoides ruber* (white) während der letzten Jahre an der Küste von Puerto Rico sowie viele Exemplare von *Globorotalia unguolata* in der Florida Straße im Frühling 2009. Diese Art zeigt vermutlich ein saisonales Vorkommen oder eine starke Zunahme der

Populationsdichte in den letzten Jahren. Prozentual unterschiedliche Zusammensetzungen zwischen den lebenden und fossilen Foraminiferenvergesellschaftungen deuten auf unterschiedliche saisonale Vorkommen der einzelnen Arten hin. Diese werden hauptsächlich durch saisonal wechselnde Umweltbedingungen (z.B. Nährstoffeintrag, Temperatur) beeinflusst. Neben einem saisonalen Effekt zeigt diese Studie auch, dass tropische Wirbelstürme das Habitat von Planktonforaminiferen für einige Tage stark beeinflussen können.

Analysen von stabilen Sauerstoffisotopen und Mg/Ca in Planktonforaminiferen zeigen, dass die Temperatur einen starken Einfluss auf das $\delta^{18}\text{O}$ und Mg/Ca Verhältnis im Gehäuse hat. Während sinkender *in-situ* Temperaturen steigen in der Regel die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte und Mg/Ca-Verhältnisse werden niedriger. Mg/Ca-Werte von fossilen *Globigerinoides sacculifer*-Gehäuse weisen auf unterschiedliche saisonale Vorkommen hin. So deuten die Mg/Ca-Temperaturen auf eine erhöhte Akkumulation von *G. sacculifer* auf dem Meeresboden am Frühlingsbeginn in der Karibik bzw. im Mai in der Florida Straße hin. Mithilfe kombinierter Messungen von stabilen Sauerstoffisotopen und Mg/Ca-Verhältnissen in Foraminiferen-Gehäusen können Sauerstoffisotopensignale des Meerwassers berechnet und als Proxy für die Salinität genutzt werden. Die flachlebende Art *G. sacculifer* zeigt einen positiven linearen Zusammenhang zwischen den berechneten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Meerwasser}}$ und der *in-situ* gemessenen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Meerwasser}}$ -Werten sowie der Salinität. Aber die Studie zeigt ebenfalls, dass „Vitaleffekte“, die höchstwahrscheinlich durch Symbionten-Aktivität und Wachstum erzeugt werden, einen großen Einfluss auf die Isotopenfraktionierung und den Einbau von Mg^{2+} in das Gehäuse haben. Eine negative Abweichung des $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes der Foraminiferen zum umgebenden Meerwasser weist am wahrscheinlichsten auf Symbionten-Aktivität hin. Eine starke Streuung der Mg/Ca-Werte in lebenden Foraminiferen, sowie Mg^{2+} Bänder mit wechselnder Konzentration in den einzelnen Kammern deuten auf einen unterschiedlichen Einbau von Mg^{2+} in das Gehäuse während der Kalzifizierungsprozesse hin.