



Die Emmy Noether-Gruppe »Meso- and Cenozoic Paleooceanography«: Diplom-Biologin Mirjam Koch, Dr. Tanja Kuhnt, Privatdozent Dr. Oliver Friedrich und Diplom-Geologin Iris Möbius.

Wenn Klimaforscher wissen wollen, was die Zukunft bringt, schauen sie gern in die Vergangenheit. Während der Kreidezeit herrschte auf der Erde ein Treibhausklima mit atmosphärischen CO₂-Gehalten, die weitaus höher waren als heute. Welche Konsequenzen das für die Meeresströmungen und die marinen Ökosysteme hatte, können Geowissenschaftler heute nicht mehr direkt messen. Bei der Spurensuche helfen ihnen die Fossilien mikroskopisch kleiner Einzeller, deren wunderschöne Kalkschalen als Klimagedächtnis dienen.

Während der letzten etwa 90 Millionen Jahre gab es auf der Erde einen drastischen Klimawandel vom kreidezeitlichen Treibhausklima zum heutigen Eishausklima. Durch dieses Treibhausklima und die vorherrschende Verteilung der Kontinente funktionierte die ozeanische Zirkulation damals grundsätzlich anders als heute. Unterschiede gab es unter anderem bei der Tiefenwasserbildung, dem Eisvolumen und der Ablagerung von Sedimenten (Schwarzschiefer), welche aufgrund ihres hohen Anteils an organischer Materie einen signifikanten Teil der heutigen Erdölvorkommen ausmachen.

Die verlässliche Rekonstruktion der Klimadynamik in den vergangenen 100 Millionen Jahren der Erdgeschichte ist von besonderer Bedeutung, da sie einen Einblick in die natürliche klimatische Variabilität ermöglicht. ■ Unsere von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Emmy Noether-Gruppe »Meso- and Cenozoic Paleooceanography« am Institut für Geowissenschaften konzentriert sich dabei auf den Klimawandel und seinen Einfluss auf marine Ökosysteme. Die gewonnenen Erkenntnisse können zum einen helfen, den anthropogenen Anteil des aktuellen Klimawandels zu erfassen und zum anderen dazu dienen, zukünftige Reaktionen der marinen Ökosysteme auf Klimaschwankungen besser zu verstehen und letztendlich vorherzusagen.

Vom Treibhausklima der Kreidezeit zum heutigen Eishausklima

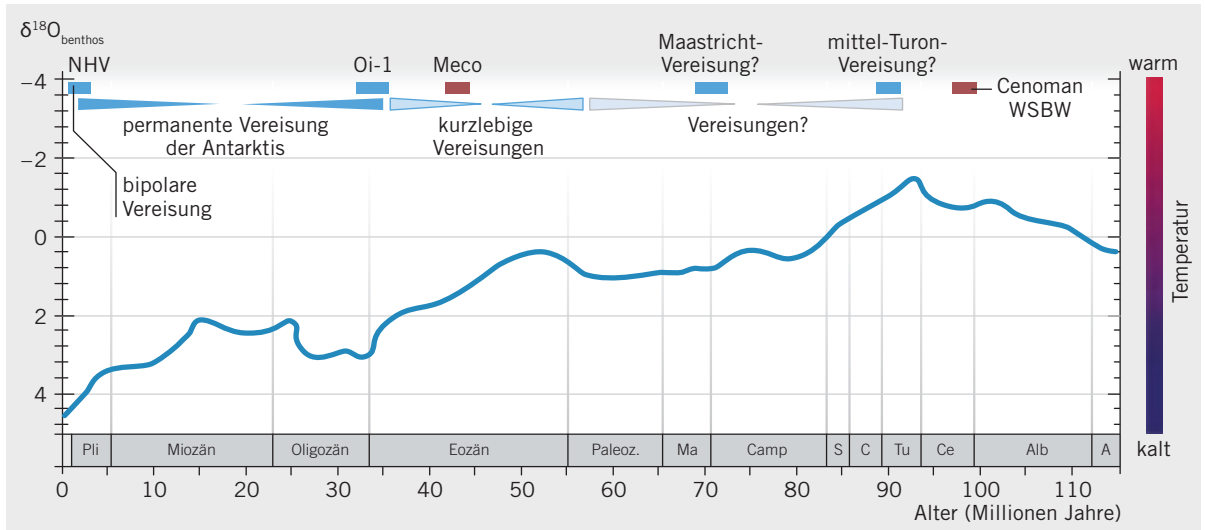
Auf Spurensuche in Mikrofossilien vom Meeresboden

Eisvolumen und ozeanische Zirkulation verlässlich rekonstruieren

von Oliver Friedrich

Heutzutage bedecken Ozeane circa 70 Prozent der Erdoberfläche und spielen somit für das Klimasystem der Erde eine entscheidende Rolle. Änderungen in den physikalischen Parametern des Ozeanwassers, wie Temperatur und Salinität (Salzgehalt), haben einen großen Einfluss auf das Klimageschehen. Sie steuern das globale Eisvolumen über wachsende beziehungsweise schrumpfende Eisschilde und die ozeanische Zirkulation durch eine Reihe komplexer Rückkopplungsmechanismen. Die genaue Bestimmung dieser physikalischen Parameter ist also für eine verlässliche Rekonstruktion vergangener Zusammenhänge unerlässlich. Da man solche Parameter für vergangene Zeitscheiben aber nicht direkt messen kann, werden sogenannte Proxies (Stellvertreterdaten) benutzt. Diese Proxies basieren auf empirisch festgestellten Zusammenhängen zwischen dem interessierenden Parameter wie Temperatur oder Salinität und der Beschaffen-

1 Klimaentwicklung der letzten 110 Millionen Jahre: Basierend auf Sauerstoffisotopen benthischer Foraminiferen sind die klimatische Entwicklung der letzten 110 Millionen Jahre sowie die Vereisungsgeschichte der Erde dargestellt. Im Rahmen des Forschungsprojektes zu untersuchende Zeitintervalle sind in blau (Vereisungsphasen) und rot (Erwärmungsphasen) markiert.



2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von benthischen Foraminiferen der Kreidezeit (Alter: mittleres Cenoman, 95 Millionen Jahre).

heit des »Stellvertreters«, beispielsweise der Kalkschale winziger Meereslebewesen. Treten darin bestimmte chemische Elemente auf oder haben diese ein charakteristisches Verhältnis zueinander, sind Rückschlüsse auf die damaligen Klimaverhältnisse möglich.

Änderungen in der Temperatur und dem Eisvolumen während bestimmter Zeitintervalle der letzten 100 Mil-

lionen Jahre (speziell während der Vereisungs- und Warmphasen 1) sind allerdings mit den zur Verfügung stehenden Proxies schwierig zu rekonstruieren beziehungsweise voneinander zu trennen. Da diese Intervalle aber besonders wichtig für unser Verständnis der paläoklimatischen Dynamik sind, besteht das Hauptziel unseres Forschungsprojektes darin, diese Signale mithilfe neu zu entwickelter Proxies verlässlicher bestimmen zu können. Wir konzentrieren uns auf die Entwicklung und Kalibration zweier neuer Proxies, die auf Foraminiferen basieren. 2 Das sind mikroskopisch kleine Einzeller, welche in großen Mengen im Ozean vorkommen. Deren Kalkschalen bleiben als Fossilien in den Ozeanbodensedimenten erhalten und können somit mikropaläontologisch untersucht werden. Dabei unterscheidet man zwei verschiedene Gruppen: Planktische Foraminiferen leben im Oberflächenwasser als Plankton, benthische Foraminiferen finden sich auf dem Meeresboden oder im Sediment. Beide Formen eignen sich aufgrund ihrer morphologischen Vielfalt, der relativ engen ökologischen Toleranzen einzelner Arten beziehungsweise der spezifischen Vergesellschaftungen hervorragend als Proxies für paläozeanografische und paläoklimatische Rekonstruktionen – nicht zuletzt, weil sie in marinen Sedimenten in großer Zahl vorkommen.

Das Emmy Noether-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Das nach der deutschen Mathematikerin Emmy Noether benannte Programm hat das Ziel, hervorragenden Nachwuchswissenschaftlern durch die Leitung einer eigenen Nachwuchsgruppe den Weg in die wissenschaftliche Selbstständigkeit zu eröffnen. Die Bewerber sollten über zwei bis vier Jahre Forschungserfahrung nach der Promotion sowie Auslandserfahrung verfügen. Die Förderung geht über fünf Jahre. An der Goethe-Universität gibt es derzeit sieben Emmy Noether-Nachwuchsgruppen.

Was die Porendichte von Kalkschalen über das Meer der Kreidezeit verrät

Das Auftreten bestimmter Arten planktischer Foraminiferen wird dabei für die Rekonstruktion der Bedingungen in der oberen Wassersäule benutzt. Benthische Foraminiferen liefern dagegen Informationen über das Bodenwasser, wie den Sauerstoffgehalt oder den Nährstofftransport zum Meeresboden. In unserer Arbeitsgruppe entwickeln wir eine Methode, aus der Porendichte von benthischen Foraminiferen den Sauerstoffgehalt am Meeresboden verlässlich zu rekonstruieren. Diese stützt sich auf weit zurückreichende Beobachtungen, dass die Anzahl und die Größe der Poren benthischer Foraminiferen mit dem O₂-Gehalt des Bodenwassers variieren. Bisher ist dieser Zusammenhang aber nur qualitativ beobachtet worden. Daher ist eine genaue Abschätzung des O₂-Gehaltes zurzeit noch nicht möglich. Hier setzt das Projekt an, indem es die Reaktion verschiedener Foraminiferenarten auf unterschiedliche O₂-Gehalte gezielt testet. Wir erfassen die weni-

Referenzen

Eiler, J. M., 2007 »Clumped-isotope« geochemistry – The study of naturally- occurring multiply- substituted isotopo- logues Earth and Planetary Science Letters 262, 309–327.	Ghosh, P., Adkins, J., Affek, H., Bal- ta, B., Guo, W., Schauble, E. A., Schrag, D., Eiler, J. M., 2006 ¹³ C- ¹⁸ O bonds in carbonate minerals: A new kind of paleother- mometer Geochi- mica Cosmochi- mica Acta 70, 1439–1456.	Intergovernmen- tal Panel of Cli- mate Change 2007. Fourth As- sessment Report: Climate Change 2007 (AR4).
--	--	--

Isotopenhäufigkeit als Thermometer

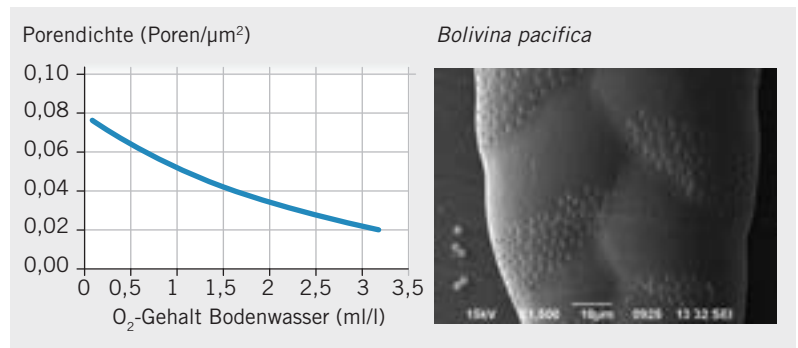
Das »clumped isotope«-Paläothermometer (CIP) basiert auf den Pionierstudien von Ghosh et al. (2006) und anderer Forscher. Diese neue Methode ermöglicht die Temperaturrekonstruktion vergangener Zeitintervalle anhand der Anhäufung (»clumping«) bestimmter Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope (^{13}C und ^{18}O) im Kristallgitter karbonatischer Phasen, wie sie bei Foraminiferen, Muscheln oder Korallen zu finden sind. Durch Kombinationen der zwei stabilen Isotope des Kohlenstoffs (^{12}C , ^{13}C) und der drei stabilen Isotope des Sauerstoffs (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) lassen sich innerhalb des Karbonatkristalls (CaCO_3) zwanzig verschiedene Möglichkeiten realisieren. Dabei sind Verbindungen aus leichten

Isotopen (^{12}C und ^{16}O) vorherrschend. Sie machen 99,99 Prozent des Karbonatgitters aus. Bei den Kombinationen mit zwei schweren Isotopen ist das Isotopolog $^{13}\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O}_2$ am häufigsten (Eiler, 2007). Für die Nutzung als Proxy ist entscheidend, dass die Häufigkeit des Auftretens dieser Kombination temperaturabhängig ist (Eiler, 2007 und andere). Im Gegensatz zu anderen Temperaturproxies ist dies unabhängig von der isotopischen Zusammensetzung des Meerwassers, in dem das Karbonat gebildet wurde. Aufgrund dieser Eigenschaft ergibt sich die Möglichkeit, das »clumped isotope«-Paläothermometer in Kombination mit zum Beispiel stabilen Sauerstoffisotopen zu benutzen, um das Eisvolumen in der Erdgeschichte zu rekonstruieren.

ge Mikrometer kleinen Poren und ihre Anzahl mithilfe eines Rasterelektronenmikroskops und analysieren sie anschließend mit einem Bildanalyseprogramm. Für verschiedene Arten ist diese erste Stufe des Projektes bereits abgeschlossen. Wir haben erste Kalibrationen gemacht, welche es nun ermöglichen, den O_2 -Gehalt fossiler Bodenwässer nicht nur qualitativ zu beschreiben, sondern auch quantitativ zu bestimmen. Zusätzlich lassen sich die kalzitischen Schalen der Foraminiferen als geochemische Proxies verwenden. Ein Proxy ist das sogenannte »clumped isotope«-Paläothermometer [siehe »Isotopenhäufigkeit als Thermometer«].

Die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe verfolgen ein Drei-Stufen-Programm: (I) das Testen der neuen Proxies, (II) das Kalibrieren beider Proxies für Foraminiferen und (III) deren Anwendung auf ausgewählte Zeitintervalle der vergangenen 100 Millionen Jahre der Erdgeschichte. Ziele von Stufe (III) sind dabei die Unterscheidung von Temperatur- und Eissignalen während dieser Phasen sowie die Untersuchung der damit zusammenhängenden Auswirkungen auf Ozeanzirkulation und marine Ökosysteme. Das Emmy Noether-Projekt erlaubt somit entscheidende Erkenntnisse über die klimatischen und ozeanografischen Rahmenbedingungen des kreidezeitlichen Treibhausklimas sowie den Übergang

vom kreidezeitlichen Treibhausklima zum modernen Eishausklima. Gerade vor dem Hintergrund der anthropogenen Klimaerwärmung sind solche Untersuchungen des Klimasystems unter Treibhaus-Bedingungen mit hohem atmosphärischem CO_2 -Gehalt gesellschaftlich relevant, um mögliche Veränderungen der nahen Zukunft besser vorhersagen und verstehen zu können. ♦



▣ Porendichte benthischer Foraminiferen als O_2 -Proxy: Empirisch ermittelter Zusammenhang zwischen der Porendichte der benthischen Foraminiferenart *Bolivina pacifica* (rechts: rasterelektronenmikroskopische Detailaufnahme der Poren) und dem O_2 -Gehalt des Bodenwassers. Die dargestellte Funktion kann in fossilen Proben zur Rekonstruktion des damaligen O_2 -Gehaltes benutzt werden.

5 Fragen an den Nachwuchsforscher



Privatdozent Dr. Oliver Friedrich, 35,
 Institut für Geowissenschaften, Facheinheit Paläontologie
o.friedrich@em.uni-frankfurt.de
www.geol-pal.uni-frankfurt.de/staff/homepages/Friedrich/Friedrich.html

1. Wann begannen Sie sich für Ihr Fachgebiet zu interessieren?

Als Grundschüler, nachdem ich meine ersten Fossilien gefunden hatte.

2. Welche Stationen Ihrer wissenschaftlichen Laufbahn waren für Sie die wichtigsten?

Die Auslandsaufenthalte in den USA und

England, da ich dort einen sehr guten Einblick in andere Denk- und Arbeitskonzepte erhielt.

3. In welchen Augenblicken fühlen Sie sich als Wissenschaftler am glücklichsten?

Wenn ich neue Datensätze zum ersten Mal ansehe und wenn sie dann endgültig publiziert sind.

4. Wer oder was hilft, wenn bei der Arbeit Schwierigkeiten auftreten?

Pause machen und spazieren gehen, um darüber nachzudenken.

5. Was tun Sie, wenn Sie eine Pause von der Wissenschaft brauchen?

Lesen, Sport, Ausflüge mit der Familie