



DIE ENTWICKLUNG DER OZEANBECKEN UND DER KOHLENSTOFFKREISLAUF

20. PETERSEN EXZELLENZ-PROFESSUR 06/2019

Werner
Petersen
Stiftung 

PROF. DR. DIETMAR MÜLLER

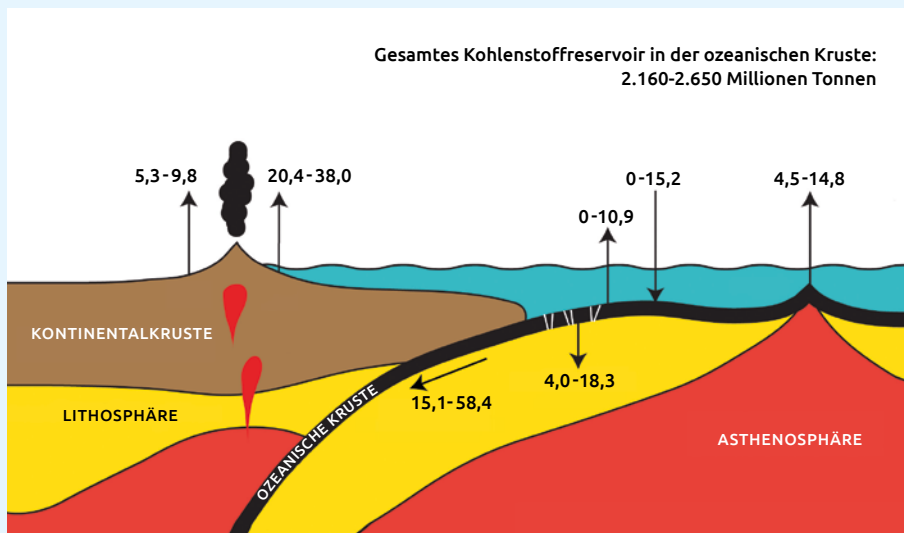
Position:

Professor für Geophysik, The University of Sydney, Australien

Forschungsinteresse:

Marine Geologie und Geophysik, Kohlenstoffkreislauf





- Die Werte geben die maximalen und minimalen Kohlenstoffflüsse für das Kohlenstoffreservoir der ozeanischen Kruste in den letzten 200 Millionen Jahren an (alle Werte in Millionen Tonnen pro Jahr). Abwärts gerichtete Pfeile zeigen an, dass der Kohlenstoff in der Kruste oder im Mantel gespeichert ist. Aufwärts gerichtete Pfeile zeigen den Kohlenstofffluss in die Atmosphäre an. Die Ozeanische Kruste fungiert entweder als Senke oder Quelle für atmosphärischen Kohlenstoff, abhängig von ihrer sich ändernden Kapazität, CO_2 im Laufe der Zeit zu halten, abhängig von Schwankungen in der Verteilung der Ozeanische Kruste im Altersbereich und Änderungen der Bodenwassertemperatur.

DER LANGSAME KOHLENSTOFFZYKLUS

Der Klimawandel ist zum einem der zentralen Themen unserer Zeit geworden. Ein Basiswissen über natürliche Klimaschwankungen auf geologischen Zeitskalen ist für die Abschätzung möglicher zukünftiger Entwicklungen des Klimas, der Umwelt und der Ökosysteme der Erde von elementarer Bedeutung. Über lange Zeitskalen von mehreren Millionen Jahren werden Klimaschwankungen hauptsächlich durch den sogenannten „langsamen Kohlenstoffzyklus“ bestimmt, der durch eine Reihe chemischer Reaktionen und tektonische Aktivitäten angetrieben wird. So nimmt bei steigendem atmosphärischen Kohlendioxidgehalt die Verwitterung von kontinentalem Gestein zu und bindet so CO_2 , sodass der atmosphärische Gehalt wieder sinkt und die Erde wieder abkühlt. Dieser langsame Kohlenstoffkreislauf ist als eine Art Lebensversicherung der Erde zu betrachten, da er die Bewohnbarkeit des Planeten in einer Reihe von heißen Klimaperioden aufrecht erhalten hat.

Für das Verständnis des langsamen Kohlenstoffkreislaufs ist das Verständnis der tektonischen Geschichte der Ozeanbecken eine Grundvoraussetzung. Diese wird durch die Bewegung der Erdplatten und die Entwicklung der Plattengrenzen bestimmt. Die Hauptschwierigkeit bei der Rekonstruktion von Ozeanbecken besteht darin, dass die Ozeanische Kruste entlang der Subduktionszonen kontinuierlich ins Erdinnere zurückgeführt wird. Dies bedeutet, dass der Anteil der Ozeanische Kruste, der einst die globalen Ozeanbecken gebildet hat, kontinuierlich abnimmt. So ist heute nur noch etwa die Hälfte des vor 50 Millionen Jahren existierenden Meeresbodens erhalten. Deshalb müssen Wege gefunden werden, um den inzwischen verschwundenen Meeresboden zu rekonstruieren. Es ist relativ einfach den Atlan-

tischen und den Indischen Ozean zu rekonstruieren, wo die Strukturen der mittelozeanischen Rücken, beidseitig der Rückenachsen erhalten sind. Die Rekonstruktion des Pazifikbeckens und des inzwischen weitgehend zerstörten Tethys-Ozeanbeckens, das einst Afrika, Indien und Australien von Eurasien trennte, ist eine Herausforderung, die bisher nur von der EarthByte-Gruppe an der Universität von Sydney unter der Leitung von Prof. Dr. Dietmar Müller versucht wurde.

Ein Modell zur Entwicklung der Ozeanische Kruste

Die von der Forschungsgruppe erstellten Rekonstruktionen des Meeresbodens in den Ozeanbecken und ihrer Grenzen ermöglichen es, sowohl tektonische Senken als auch CO_2 -Quellen zu rekonstruieren, einschließlich der

Entgasung aus den mittelozeanischen Rücken und der Verwitterung von Gesteinsformationen. Wenn die Ozeanische Kruste an den Subduktionszonen ins tiefe Erdinnere zurücktransportiert wird, wird ein Teil des Kohlendioxids, das in der Kruste und den darüber liegenden Meeresablagerungen gespeichert ist, durch Vulkanismus frei, während der Rest im Erdmantel verschwindet. Ein Schwerpunkt der Arbeit von Earthbyte sind die Prozesse an einer jungen, heißen, vulkanischen Ozeanische Kruste, die durch das Eindringen von Meerwasser durch Risse und offene Räume in der Kruste verwittert wird. Mineralien wie Calcit, die Kohlenstoff in ihrer Struktur binden, bilden sich dabei allmählich in der Kruste. Jüngste Arbeiten haben gezeigt, dass die Wirksamkeit dieses Verwitterungsprozesses am Meeres-



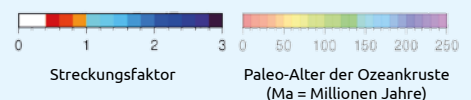
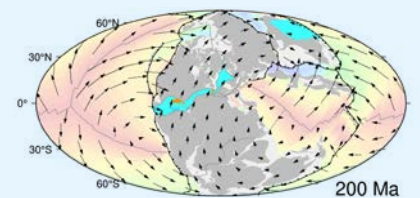
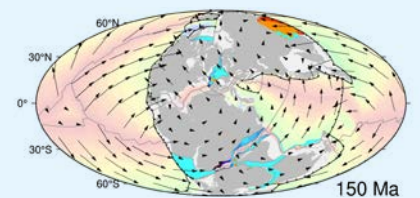
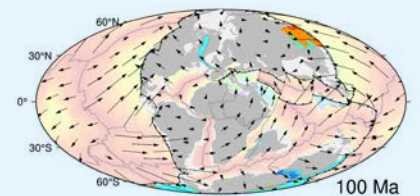
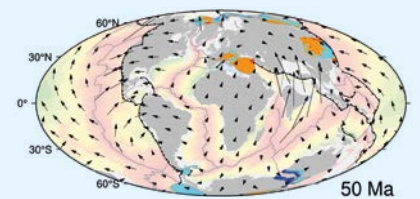
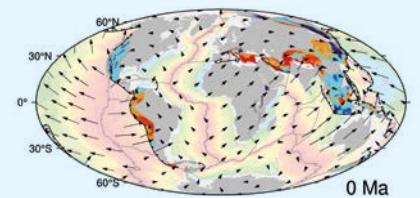
Die durch die Zirkulation des erhitzten Meerwassers in der Kruste bedingte Temperaturänderung in der Tiefe fügt der Kruste Kohlendioxid hinzu, hauptsächlich in Form von Kalziumkarbonat, wobei CO_2 aus Meerwasser und Kalziumoxid aus Basalten verwendet wird. Diese Senke ist in den globalen CO_2 Budgets wichtig. Die fortschreitende Anreicherung der Ozeankruste mit Kohlendioxid kann durch Analyse von Basaltproben aus Bohrungen im Meeresboden quantifiziert werden.

boden von der Wassertemperatur abhängt - je heißer, desto mehr Kohlendioxid wird in der Ozeankruste gespeichert. Um herauszufinden, wie dieser Prozess zum langsamen Kohlenstoffkreislauf beiträgt, rekonstruierte die Forschungsgruppe um Dietmar Müller die durchschnittliche Wassertemperatur der Ozeane und benutzte sie in einem globalen Computermodell für die Entwicklung der Ozeankruste über die letzten 230 Millionen Jahre. Dadurch konnte berechnet werden, wie viel Kohlendioxid in einem neu entstehenden Krustenstück gespeichert wird. Dieses plattentektonische Modell ermöglicht es auch, jedes Stück des Meeresbodens zu verfolgen, bis es schließlich eine Subduktionszone erreicht. Dort werden die Kruste und ihr Calcit in den Erdmantel zurückgeführt, wobei ein Teil des Kohlendioxids durch Vulkane in die Atmosphäre freigesetzt wird.

Die Entdeckung eines Zyklus von 26 Millionen Jahren

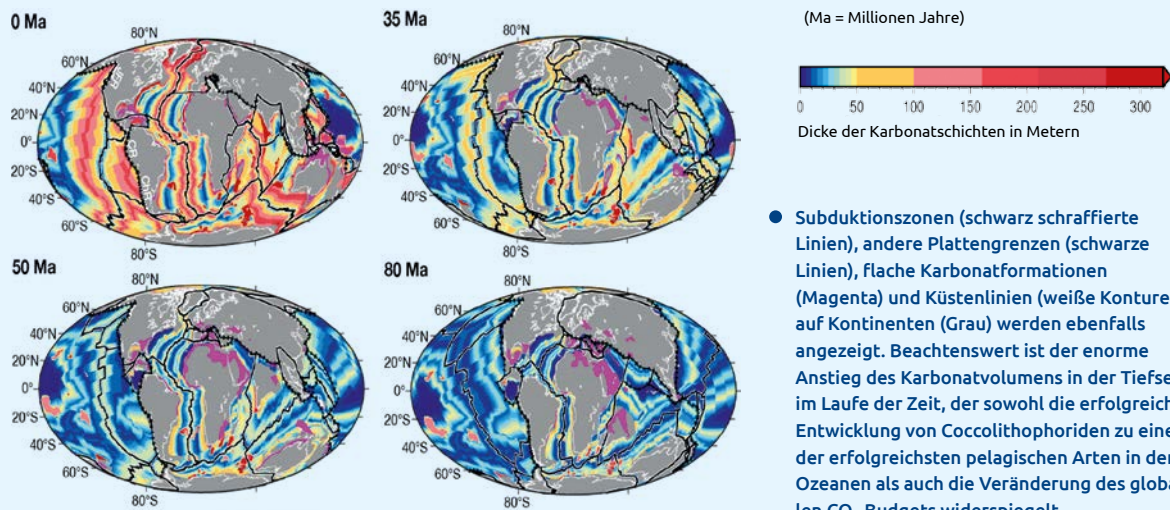
Anhand der Modellsimulationen speichert die Ozeankruste 2.000 bis 2.400 Millionen Tonnen Kohlenstoff. Sie kann, abhängig von der Bodentemperatur und den Ausbreitungsraten des Meeresbodens, als Nettoquelle oder CO_2 -Senke fungieren, und somit die Speicherkapazität

des globalen Ozeans verringern oder erhöhen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Speicherkapazität für CO_2 in der Ozeankruste mit einer relativ regelmäßigen Periodizität von etwa 26 Millionen Jahren ändert. Interessanterweise zeigen verschiedene Phänomene, wie Artensterben, Vulkanismus, Salzablagerungen und Schwankungen des atmosphärischen CO_2 -Gehaltes, die unabhängig von diesem geologischen Verfahren rekonstruiert wurden, alle die gleiche Periodizität. Als Gründe für diese Schwankungen wurden bisher extraterrestrische Ursachen angenommen. Unser Modell deutet darauf hin, dass die charakteristische Periodizität von 26 Millionen Jahren im langsamen Kohlenstoffkreislauf von Schwankungen der Ausbreitungsraten des Meeresbodens bestimmt wird, die wiederum die Kapazität der Ozeankruste zur Speicherung von Kohlendioxid verändern. Dies wirft die nächste Frage auf: Was führt letztendlich zu diesen Schwankungen in der Krustenproduktion? Die Subduktion, das Abtauchen tektonischer Platten tief in den konvektiven Mantel, wird als der dominierende Antrieb der Plattentektonik angesehen. Also müssten die Subduktionszyklen die treibende Kraft in der Periodizität von 26 Millionen Jahren darstellen.



REKONSTRUKTIONEN VON PLATTEN FÜR DIE ZEIT DER TRIAS BIS HEUTE

Kontinente werden in mittlerem Grau und versunkene kontinentale Regionen (im Vergleich zu heutigen Küsten) in hellem Grau gezeigt. Das Paläo-Alter der Ozeankruste wird in hellen Farben dargestellt, die sich von Rot über Grün, Blau und Magenta von der jungen bis zur alten Kruste entwickeln. Subduktionszonen sind schwarze Linien mit Dreiecken, während mittelozeanische Rücken als hellgraue Linien dargestellt sind. Verformungsbereiche werden in hell- bis dunkelblauen Farben dargestellt, wenn sie in der Verlängerung mit einem Streckungsfaktor >1 bezeichnet werden, während die Plattenkompression in orange / roten Farben dargestellt wird, die mit einem Kompressionsfaktor <1 bezeichnet werden. Plattengeschwindigkeiten werden als schwarze Pfeile angezeigt.



MODELLIERTE DICKE VON KARBONATSCHICHTEN ÜBER DIE ZEIT

Meeresschnee – eine wichtige Senke für Kohlenstoff

Ein weiterer Teil des Puzzles ist der sogenannte „Meeresschnee“, der aus den Überresten winziger Organismen besteht, die den Boden der Tiefsee in einer teilweise viele Hundert Meter dicken Schicht bedecken. Dieses Mikroplankton produziert mehr als 25 Prozent des Sauerstoffs, den wir atmen, und bildet die größte Kohlenstoffsенke der Erde. Wenn organische Partikel von der Meeresoberfläche auf den Meeresboden sinken, wird jeweils ein geringer, aber insgesamt erheblicher Anteil des atmosphärischen Kohlenstoffs gespeichert. Durch einen Jahrmillionen andauernden Verdichtungsprozess wird der Meeresschnee zu Kalkstein, wie zum Beispiel die Kreidefelsen entlang der Ostseeküste. Diese Kalkablagerungen stellen einen riesigen Kohlenstoffspeicher dar, daher sind selbst kleine Änderungen bei der Bindung von Kohlenstoff in Karbonaten sehr wichtig



- Dieses feinkörnige Kreidegestein besteht hauptsächlich aus den Kalkplättchen abgestorbener Algen. Diese haben Kohlendioxid aufgenommen, das nach dem Absterben der Organismen zusammen mit den Algenresten zum Meeresboden sinkt und dadurch aus dem Meer entfernt wird. Die Probe beinhaltet auch ein Belemniten-Fossil (eine ausgestorbene Tintenfischart).

für das Verständnis der Nettoveränderungen von atmosphärischem Kohlendioxid und letztendlich für das Klima. Somit ist wichtig zu wissen, woraus der Meeresschnee besteht, was seine Zusammensetzung bestimmt und wie er sich im Laufe der Zeit verändert hat. Wenn das Angebot an Meeresschnee zunimmt, wird mehr Kohlenstoff gespeichert, wodurch der CO₂-Gehalt der Atmosphäre reduziert wird.

Die EarthByte-Gruppe um Dietmar Müller hat die Karbonatbildung und Speicherung von Kohlenstoff mit einem selbst entwickelten Modell über die letzten 120 Millionen Jahre untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Kohlenstoffmenge, die in Karbonatschichten auf dem Meeresboden gespeichert ist, im Laufe der Zeit enorm gestiegen ist. Diese wuchs nur eine Megatonne Kohlenstoff vor etwa 80 Millionen Jahren über 30 Megatonnen vor etwa 35 Millionen Jahren bis auf 200 Megatonnen unter heutigen Bedingungen an. Das Wachstum dieser bedeutenden Kohlenstoffsенke über Millionen von Jahren könnte für den Rückgang von Kohlendioxid aus der Atmosphäre verantwortlich sein, der vor 50 Millionen Jahren zu einer globalen Abkühlung führte und vor rund 35 Millionen Jahren den Übergang vom Treibhaus- zum „Eishausklima“ auslöste.

Prof. Dr. Dietmar Müller studierte zunächst Geologie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und promovierte 1993 an der Scripps Institution of Oceanography in San Diego, USA. Danach ging er an die Universität Sydney, Australien, wo er das Institut für Meereswissenschaften (heute Marine Studies Institute) und später die EarthByte-Forschungsgruppe aufbaute.

Dietmar Müller wurde für seine Forschungsarbeiten mehrfach ausgezeichnet, unter anderem mit dem Fresh Science Prize 2000, der vom British Council und „ScienceNow!“ verliehen wurde, gefolgt von der Carey-Medaille 2004 für seine

Beiträge zum Verständnis der globalen Tektonik. 2006 wurde er zum Fellow der American Geophysical Union gewählt und 2009 mit einem australischen Laureate Fellowship ausgezeichnet. 2017 wurde er zum Fellow der Australian Academy of Science gewählt. Dr. Müller erhielt 2018 den NSW-Premierpreis für hervorragende Leistungen in Mathematik, Geowissenschaften, Chemie oder Physik für seine Entwicklung der „Deep-Time-Travel-Maschine“, einem virtuellen Labor, um Raum und Zeit in vier Dimensionen tief in die Erde zu blicken. 2019 erhielt er die Jaeger-Medaille der Australian Academy of Science für lebenslange Leistungen in der Erforschung der Erde und ihrer Ozeane.