

# Plattentektonik und Klima im Känozoikum

geschrieben von Chris Frey | 1. April 2025

[Andy May](#)

In diesem Beitrag untersuche ich die Proxies, die zum Vergleich von CO<sub>2</sub> und Temperatur von vor 66 Millionen Jahren (Ma) bis heute verwendet worden sind, und kommentiere die Qualität des Vergleichs. Außerdem befassen wir uns mit den plattentektonischen Ereignissen im Känozoikum, die das globale Klima beeinflusst haben. In Abbildung 1 wird der d180-Wert der Tiefsee von Westerhold et al. (die Sauerstoff-18-Isotopenanomalie, ein Temperaturproxy) mit dem d13C-Wert (die Kohlenstoff-13-Isotopenanomalie) verglichen; beide Messungen stammen von den gleichen Fossilien, so dass sie direkt verglichen werden können. Eines der Probleme bei vielen Temperatur/CO<sub>2</sub>-Diagrammen ist, dass sie oft aus unterschiedlichen Quellen und Orten stammen und aufgrund von Datierungsfehlern und unterschiedlichen zeitlichen Auflösungen nicht direkt vergleichbar sind. Auch wenn d13C keine direkte CO<sub>2</sub>-Schätzung ist, so steht es doch im Zusammenhang mit der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Tiefsee. Die Schätzungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und im Ozean werden in Abbildung 2 mit d13C verglichen.

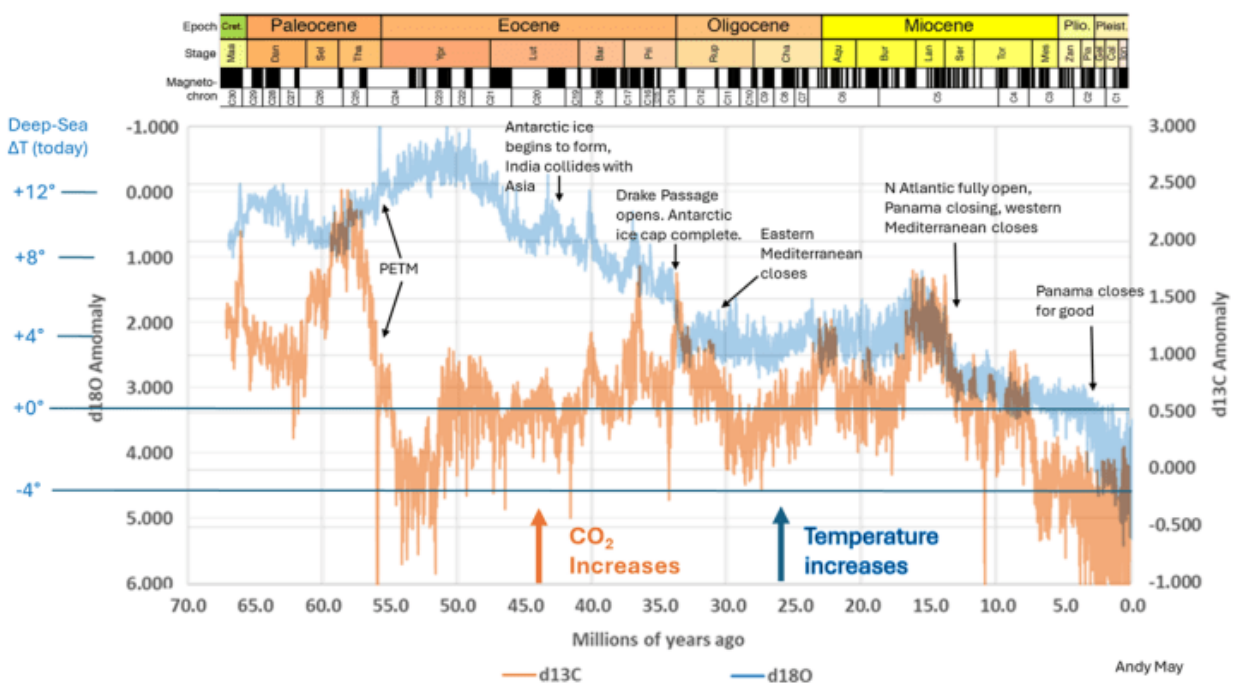


Abbildung 1. Die d180-Temperatur der Tiefsee in blau im Vergleich zu den d13C-Proxies in orange für das Känozoikum. Sowohl die Temperatur als auch d13C nehmen nach oben hin zu. Daten aus (Westerhold, et al., 2020).

Wichtige plattentektonische Ereignisse sind in Abbildung 1 vermerkt, und eine Umrechnung von  $d18O$  in die Tiefseetemperatur ist in blau auf der linken Seite angegeben. Die höchsten Temperaturen im Känozoikum stammen aus dem frühen Eozän (~56-48 Ma), als die Tiefseetemperatur um mehr als 12 °C höher lag als heute. Dies ging mit einem dramatischen Rückgang des  $CO_2$ -Gehalts in der Tiefsee einher. Wie bereits erwähnt, ist  $d13C$  kein Schätzwert für die  $CO_2$ -Konzentration, steht aber in Beziehung zu ihr. Proxy-Schätzungen von  $CO_2$  aus Rae et al. werden in Abbildung 2 mit Westerholds  $d13C$ -Schätzungen verglichen:

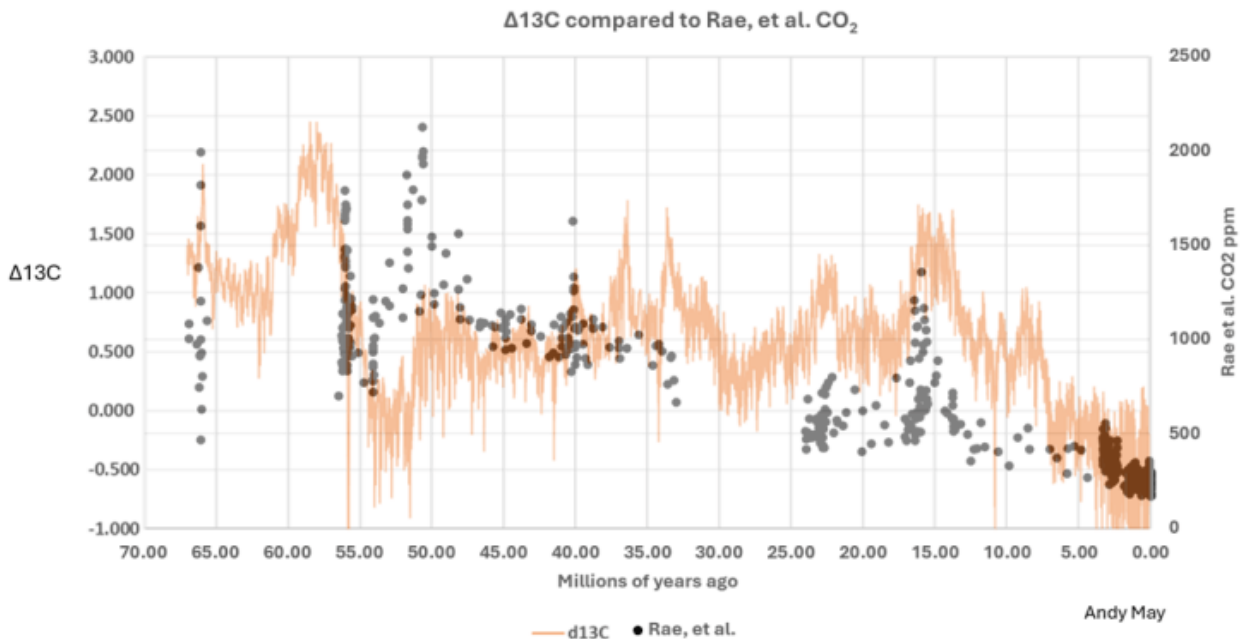


Abbildung 2. Westerholds  $d13C$  im Vergleich zu Raes  $CO_2$ -Konzentration für das Känozoikum. Die  $d13C$ -Daten stammen aus (Westerhold, et al., 2020) und die  $CO_2$ -Proxydaten aus (Rae, et al., 2021). Die beiden Werte messen unterschiedliche Dinge und sind unabhängig.

Die Übereinstimmung in Abbildung 2 ist nicht groß, und beide Datensätze haben Probleme, aber die Ähnlichkeiten in den Trends sind offensichtlich. Die von Rae et al. berichteten Schätzungen der  $CO_2$ -Konzentration sind diskontinuierlich und stammen von einer Vielzahl von Proxies, die von vielen verschiedenen Autoren mit vielen verschiedenen Techniken datiert wurden. Aus der Streuung wird deutlich, dass die Annahme, dass  $CO_2$  weltweit gleichmäßig verteilt ist, auf dieser komprimierten Zeitskala nicht zutrifft. Man beachte, dass das **PETM-Ereignis** (Paleozän-Eozän-Thermal-Maximum), die Kohlenstoff-Isotopen-Exkursion (CIE) bei ~56 Ma, in beiden Aufzeichnungen dramatisch auffällt. Diese große Divergenz im Verhältnis von Kohlenstoff-13 zu Kohlenstoff-12 ist ein auffälliges globales Phänomen in den Gesteinsaufzeichnungen und ein zuverlässiger geologischer Zeitmarker, der zwischen 55,6 und 55,4 Ma auftrat. Mögliche Gründe für den CIE und das PETM werden hier diskutiert. Dieses geologische Ereignis und die

darauf folgende Warmzeit stellen das dramatischste klimatische Ereignis im Känozoikum dar.

Ein wichtiges Ereignis zu Beginn des PETM, zwischen 56 und 55,6 Ma, war der Vulkanismus der Nordatlantischen Igneous Province oder „NAIP“. Dabei handelte es sich um eine riesige Serie von Vulkanausbrüchen, die mit der Öffnung des Nordatlantiks einhergingen und über 5 km Lava zwischen Grönland und Nordeuropa verteilten (Stokke, et al., 2020). Dadurch wurde die Nordsee fast zu einem See. Doch unabhängig von den Gründen für das PETM und das frühe Eozän-Klimaoptimum (EECO, ~56-48 Ma) sind sie in den Gesteinsaufzeichnungen deutlich erkennbar und in geologischen Abschnitten überall auf der Welt leicht zu identifizieren.

Nach dem EECO beginnen die Tiefseetemperaturen einen langen Rückgang. Zunächst steigt der CO<sub>2</sub>-Gehalt an, doch zu Beginn des Oligozäns beginnt er zu sinken, wobei der Rückgang im mittleren Miozän noch dramatischer wird.

### Wichtige plattentektonische Ereignisse im Känozoikum

Während des PETM und in der darauf folgenden Warmzeit waren die Kontinente wie in Abbildung 3 dargestellt angeordnet:

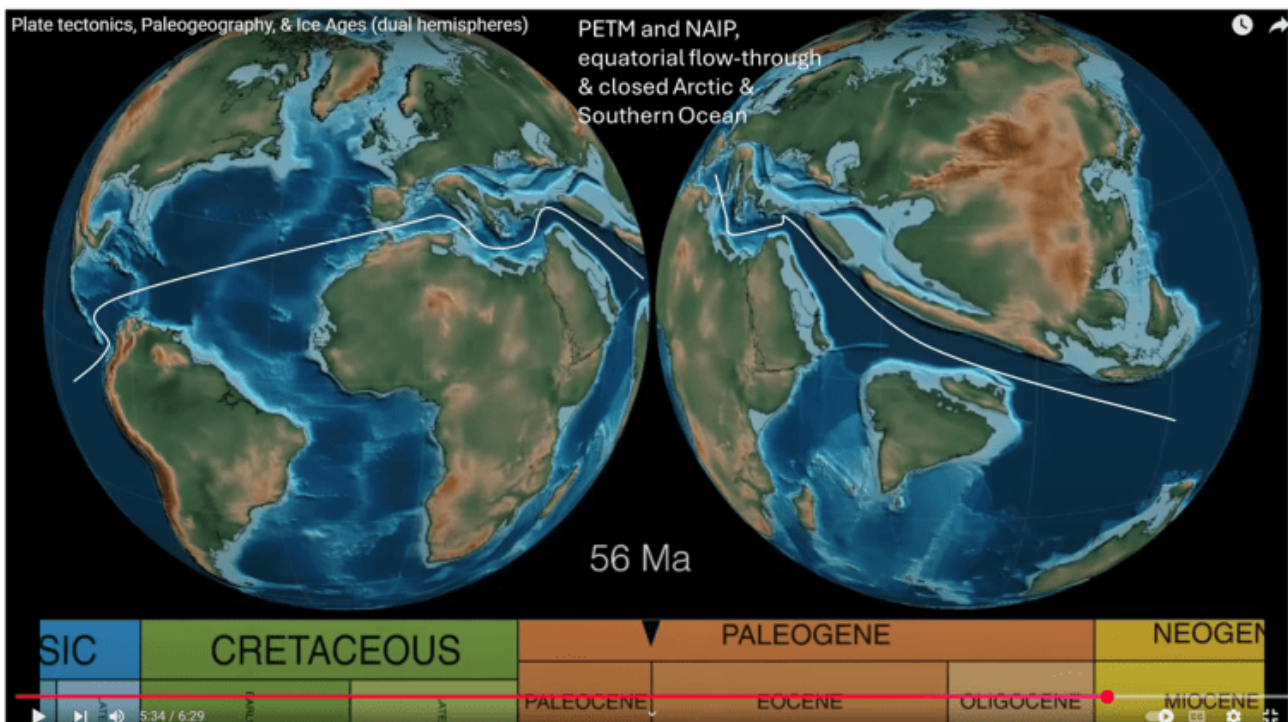


Abbildung 3. Die Konfiguration der Kontinente 56 Ma. [Quelle:](#) Christopher Scotese, 2019. Die weiße Linie zeigt die Verbindung zwischen allen Ozeanen in niedrigen Breitengraden, und der Text oben wurde vom Autor hinzugefügt.

Man beachte, dass alle Ozeane durch einen Seeweg in den unteren und

mittleren nördlichen Breiten verbunden sind, der mit einer weißen Linie markiert ist. Indien bewegt sich durch den Indischen Ozean und ist auf dem Weg, mit Asien zusammenzustoßen. Die Arktis ist wahrscheinlich durch Land isoliert, und der Südliche Ozean ist durch Landmassen blockiert, die Südamerika und Australien mit der Antarktis verbinden. Dies ist die wärmste planetarische Konfiguration und die EECO, die sowohl von Christopher Scotese (Scotese, Song, Mills, & Meer, 2021) als auch von Westerhold et al. als „Treibhausklima“ eingestuft wird. Bei Treibhausklimata liegen die globalen Durchschnittstemperaturen (Land und Ozean) über 20 °C, und es gibt an beiden Polen kein ganzjähriges Eis.

Die arktischen Meerestemperaturen (SST) während der EECO könnten 24°C **erreicht** haben. Die Schätzungen der heutigen globalen durchschnittlichen SST variieren ein wenig, aber HadSST4 **schätzt** einen globalen Durchschnitt von etwa 20,5 °C und NOAA schätzt etwa 19,7 °C, so dass die arktische SST-Temperatur während des EECO wahrscheinlich 4 °C höher war als der heutige globale Durchschnitt.

Das nächste große Ereignis ist die Kollision zwischen Indien und Asien, die zwischen 46 und 44 Ma stattfindet (siehe Abbildung 4). Die Kollision begann bereits vor 59 Mio. Jahren, aber marine Fossilien in Himalaya-Sedimenten **verschwinden** erst ab 45 Mio. Jahren (Hu et al., 2016).

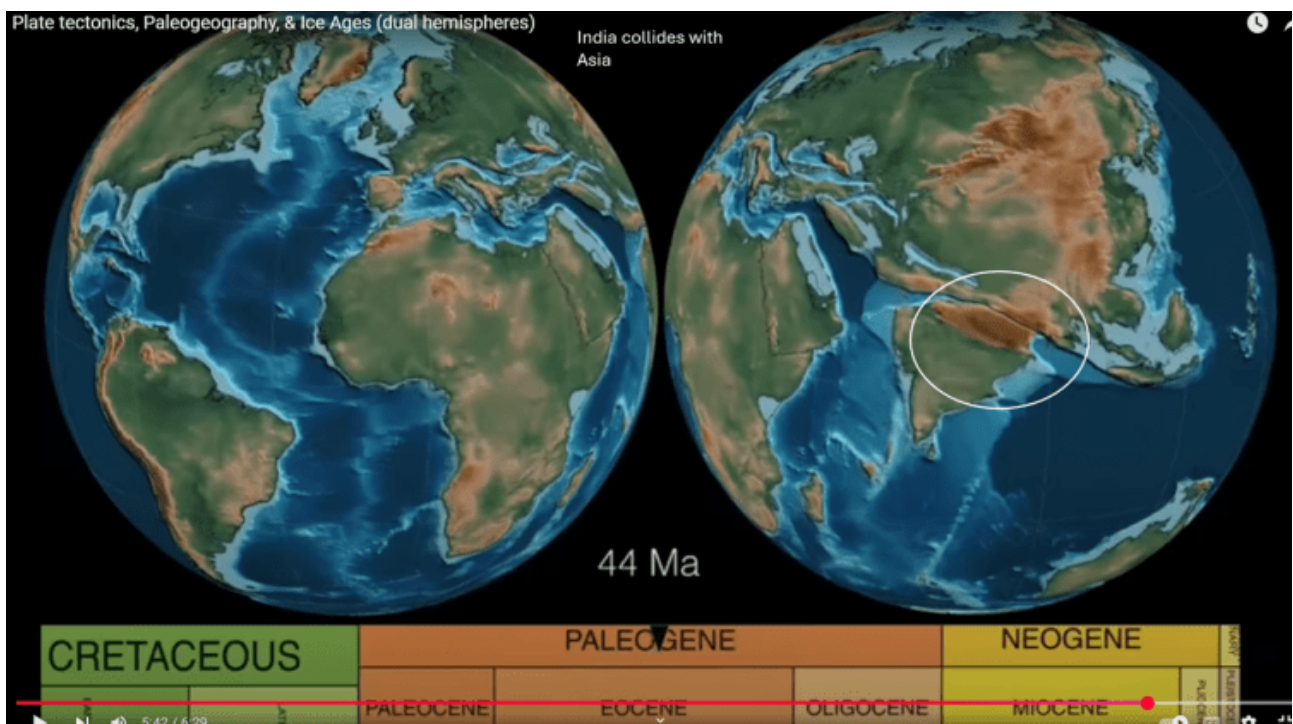


Abbildung 4. Indien kollidiert mit Asien. [Quelle:](#) Chris Scotese, 2019. Kreis und Text vom Autor hinzugefügt.

Diese Kollision geht mit einer leichten Abkühlung und einem Anstieg des CO<sub>2</sub> einher. Wenn der Himalaya nach dieser Kollision wächst, beginnt er planetarische Wellen (genauer gesagt orografische Schwerewellen) zu

verursachen, die das Wetter der nördlichen Hemisphäre dramatisch beeinflussen können (Trenberth & Chen, 1988) und (Kuchar, et al., 2022). Planetarische Wellen wirken sich auf den Nordpolarwirbel aus, der das Winterwetter der nördlichen Hemisphäre maßgeblich bestimmt.

Das nächste große Ereignis ist die Öffnung der Drake-Passage, die den Südlichen Ozean rund um die Antarktis verbindet. Dieses Ereignis vollzieht sich sehr allmählich, scheint aber, wie in Abbildung 5 dargestellt, um 34 Ma abgeschlossen zu sein. Wie bei den meisten Öffnungen oder Schließungen von Ozeanpassagen ist es schwer, den genauen Zeitpunkt zu bestimmen, und die Schätzungen über den Zeitpunkt der Öffnung **schwanken** zwischen 49 und 17 Ma. Das antarktische Eis begann um 44 Mio. zu wachsen, und um 34 Mio. ist die Eiskappe vollständig. Dies fällt mit einem dramatischen Rückgang der globalen Temperatur und einem Rückgang des CO<sub>2</sub>-Gehalts zusammen.

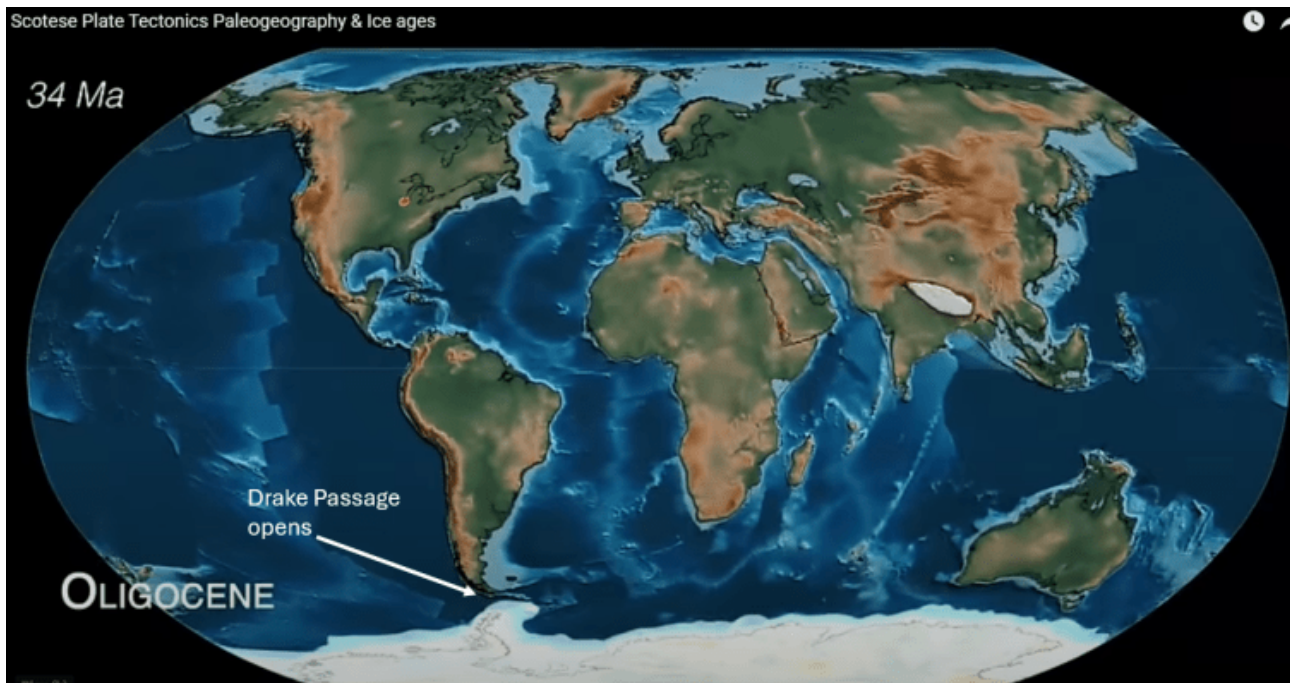


Abbildung 5. Die Drake-Passage öffnet sich und verbindet das gesamte Südpolarmeer. [Quelle:](#) Chistopher Scotese, 2019b.

Das nächste große Ereignis ereignet sich um 31 Ma, als das östliche Mittelmeer vom Indischen Ozean abgeschnitten wird (siehe Abbildung 6). Der Zeitpunkt der Abtrennung des Mittelmeers vom Indischen Ozean wird oft diskutiert und könnte bis zu 14 Mio. Jahre zurückliegen. Wir bevorzugen einen früheren Zeitpunkt, irgendwann zwischen 31 und 24 Mio. Jahren. Die Sedimentologie deutet darauf hin, dass das **spätste** mögliche Datum für die Schließung 24 Ma war.

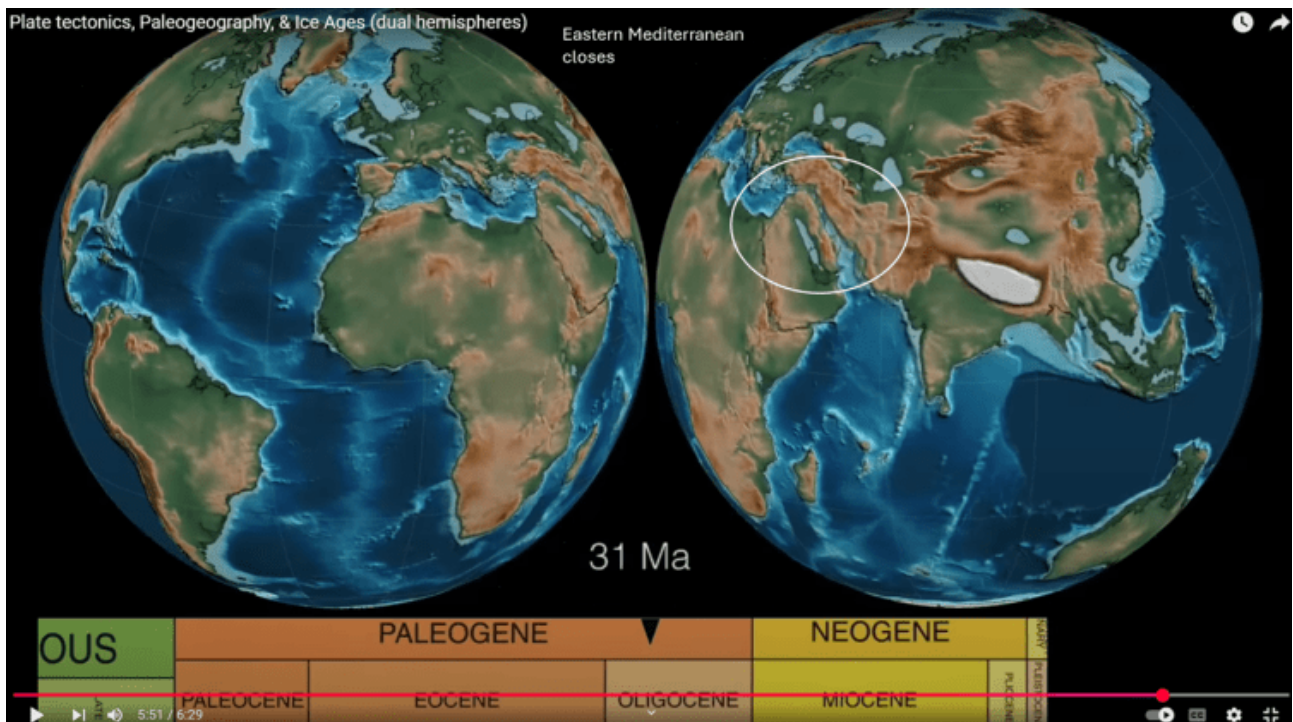


Abbildung 6. Die Schließung des östlichen Mittelmeers. [Quelle:](#) Chris Scotese, 2019.

Als Nächstes, um 17 Ma, öffnet sich der Nordatlantik vollständig und verbindet sich mit der Arktis. Panama beginnt sich wahrscheinlich zu diesem Zeitpunkt zu schließen und schränkt die Verbindung zwischen dem Atlantik und dem Pazifik ein, und das westliche Mittelmeer schließt sich bei Spanien. Der westliche Mittelmeerraum könnte sich erst ab 6 Ma geschlossen haben, aber mit Sicherheit war er ab 17 Ma stark eingeschränkt. Diese Ereignisse fallen mit einem dramatischen Rückgang der globalen Temperaturen und des CO<sub>2</sub> in der Tiefsee zusammen. Die Ereignisse sind in Abbildung 7 eingekreist. Die Öffnung des Nordatlantiks ist mit etwa 13 Mio. Jahren abgeschlossen, die vollständige und dauerhafte [Schließung](#) Panamas ist erst mit etwa 3 Mio. Jahren erreicht.

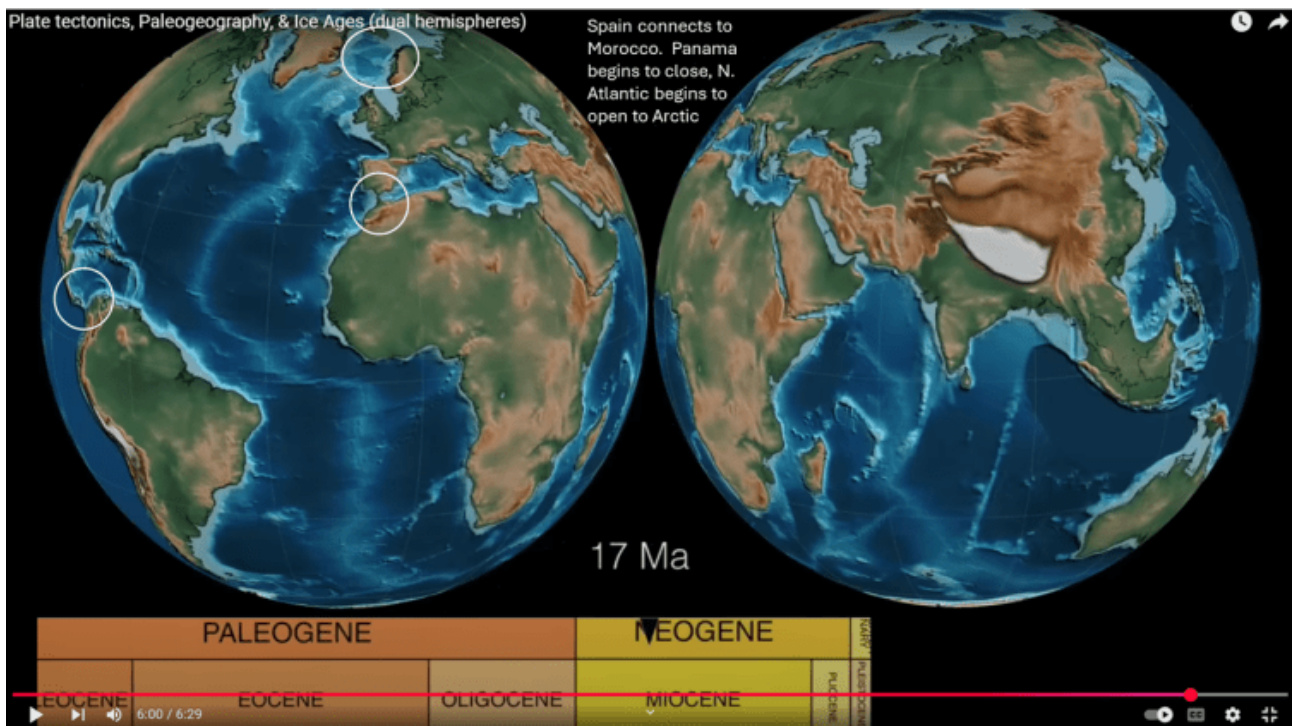


Abbildung 7. Der Nordatlantik beginnt sich zu öffnen, Panama beginnt sich zu schließen, und Spanien verbindet sich mit Marokko. [Quelle:](#) Chris Scotese, 2019.

Diese sehr dramatischen Ereignisse fallen mit einem steilen Temperatur- und CO<sub>2</sub>-Abfall zusammen, der das klimatische Optimum des Mittel-Miozäns beendet. Die Schließung des Isthmus von Panama nimmt viel Zeit in Anspruch, und der genaue Zeitpunkt der Schließung ist Gegenstand vieler Debatten (Coates & Stallard, 2013), aber die Schließung ist mit Sicherheit um 3 Ma [abgeschlossen](#), wie in Abbildung 8 gezeigt:

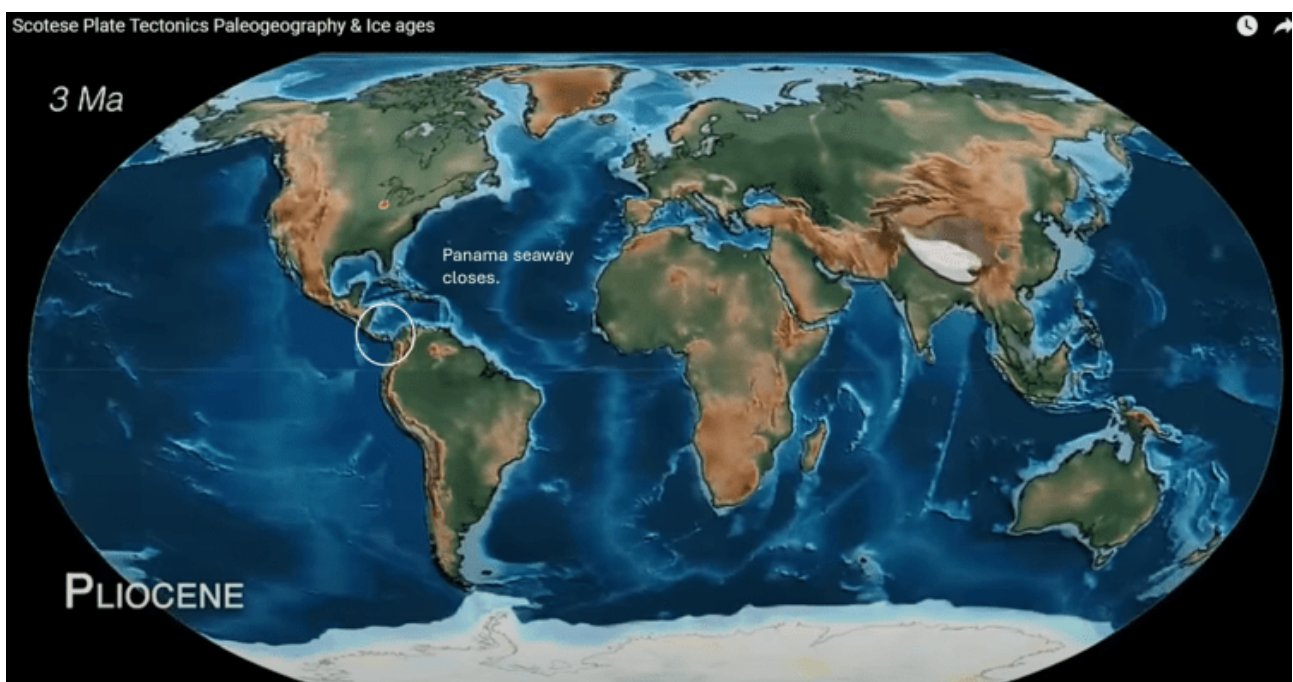


Abbildung 8. Panama schließt sich. [Quelle:](#) Chistopher Scotese, 2019b. Die endgültige Schließung des Panama-Seewegs fällt mit einem dramatischen Rückgang der globalen Temperatur zusammen, während wir in das pleistozäne Eiszeitalter eintauchen.

## Schlussfolgerungen

Langfristige Klimaveränderungen haben viele Ursachen, aber einer der wichtigsten Faktoren ist die Plattentektonik und die Kontinentalverschiebung. Wenn die Kontinente und Ozeane wie heute in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet sind, was die West-Ost-Luftströmung (zonale Luftströmung) einschränkt und die Nord-Süd-Luftströmung ([meridionale](#) Luftströmung) begünstigt, ist die Welt kälter. Das Gegenteil ist der Fall, wenn die West-Ost-Strömung durch offene Ozeanverbindungen in den mittleren und niedrigen Breiten gefördert wird, wie in Abbildung 3 dargestellt.

Ein weiterer wichtiger Einfluss auf den langfristigen Klimawandel sind die [Milankovitch-Zyklen](#) (siehe auch [hier](#)). Der Einfluss der Plattentektonik auf den Klimawandel ist sehr langfristig, in der Größenordnung von mehreren zehn Millionen Jahren, während die Milankovitch-Zyklen in der Größenordnung von Hunderttausenden von Jahren wirken. Kürzere Veränderungsperioden hängen normalerweise mit Veränderungen in der Sonne selbst zusammen, die in [Zeiträumen](#) von weniger als ein paar tausend Jahren ablaufen.

In der Westerhold-Studie, aus der die hervorragenden Daten in Abbildung 1 stammen, stellten die Autoren eine starke Korrelation zwischen den astronomischen Milankovitch-Zyklen von 21, 41, 100 und 405 Tausend Jahren (kyr) Länge und den Mustern in ihren globalen  $\delta^{18}O$ - und  $\delta^{13}C$ -Daten der Tiefsee fest. Da die sich wiederholenden astronomischen Milankovitch-Zyklen berechenbar und zuverlässiger und genauer als jede andere Datierungstechnik sind, verwendeten sie diese, um die in Abbildung 1 gezeigten Daten zu ordnen und zu datieren. Wie das funktioniert, beschreiben sie in Abschnitt 5 („Astrochronologie“) ihres Zusatzmaterials. Für Aufzeichnungen, die älter als 20 Ma sind, konnten nur die längeren Exzentrizitätszyklen verwendet werden. Der auffälligste und stabilste Zyklus war der Exzentrizitätszyklus von 405 kyr.

Westerhold et al. kommen zu dem Schluss, dass ihre Chronologie für das Pleistozän und Eozän eine Genauigkeit von  $\pm 100$  kyr, für das Oligozän  $\pm 50$  kyr und für das Miozän und Pleistozän  $\pm 10$  kyr aufweist. Diese Art von Genauigkeit ist bemerkenswert, wenn sie stimmt, und sie scheint angesichts ihres Verfahrens angemessen.

Vergleicht man die bekannten Klimaveränderungen im Känozoikum mit der plattentektonischen Rekonstruktion von Scotese, so zeigt sich eine Übereinstimmung der großen Klimaveränderungen mit großen geologischen Ereignissen auf einer Skala von vielen Millionen Jahren. Daraus lässt



sich leicht und logisch schließen, dass die geologischen Ereignisse die längerfristigen Veränderungen verursacht haben. Ich fand es sehr ermutigend, dass Westerhold et al. die astronomischen Milankovitch-Zyklen in ihren Tiefseefossilien so deutlich „sehen“ konnten, dass sie für deren Datierung verwendet werden konnten. Eines der größten Probleme beim Vergleich von CO<sub>2</sub>-Aufzeichnungen mit Temperaturlaufzeichnungen besteht darin, dass die CO<sub>2</sub>-Aufzeichnungen anhand anderer Proben erstellt werden, die getrennt von den Temperatur-Proxy-Proben datiert werden müssen. Daher habe ich viel mehr Vertrauen in die δ<sup>13</sup>C-Daten in den Abbildungen 1 und 2 als in die Daten von Rae et al. in Abbildung 2. Außerdem überlassen die auffälligen Lücken in den CO<sub>2</sub>-Daten von Rae et al. zu viel der Fantasie.

Westerholds δ<sup>13</sup>C-Proxy für die Tiefsee ist kein direkter CO<sub>2</sub>-Proxy, aber er kann direkt mit dem δ<sup>18</sup>O-Temperatur-Proxy gepaart werden, und er ist kontinuierlich. Diese Eigenschaften machen ihn meiner Meinung nach anderen CO<sub>2</sub>-Proxys überlegen.

Ich sollte anmerken, dass der genaue Zeitpunkt der großen plattentektonischen Ereignisse, die in diesem Beitrag besprochen werden, Gegenstand heftiger Debatten in der geologischen Gemeinschaft sind (Hu, et al., 2016; Torfstein & Steinberg, 2020, Coates & Stallard, 2013). Die genauen Daten, wann Indien mit Asien kollidierte, der Isthmus von Panama sich schloss oder der Nordatlantik sich zur Arktis hin öffnete, sind nicht bekannt. Sie ereigneten sich über Millionen von Jahren, und verschiedene geologische Studien können je nach den verwendeten Daten unterschiedliche Daten liefern. Die in dieser Studie angegebenen Daten beruhen daher nur auf meinem besten Wissen und stehen zur Diskussion.

*Download the bibliography [here](#).*

Link:

<https://andymaypetrophysicist.com/2025/03/29/plate-tectonics-and-climate-during-the-cenozoic/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE