

Ein seltsames Paläo-Puzzle

geschrieben von Chris Frey | 26. Februar 2024

[Willis Eschenbach](#)

Beim browsen stieß ich zufällig auf diesen Beitrag:

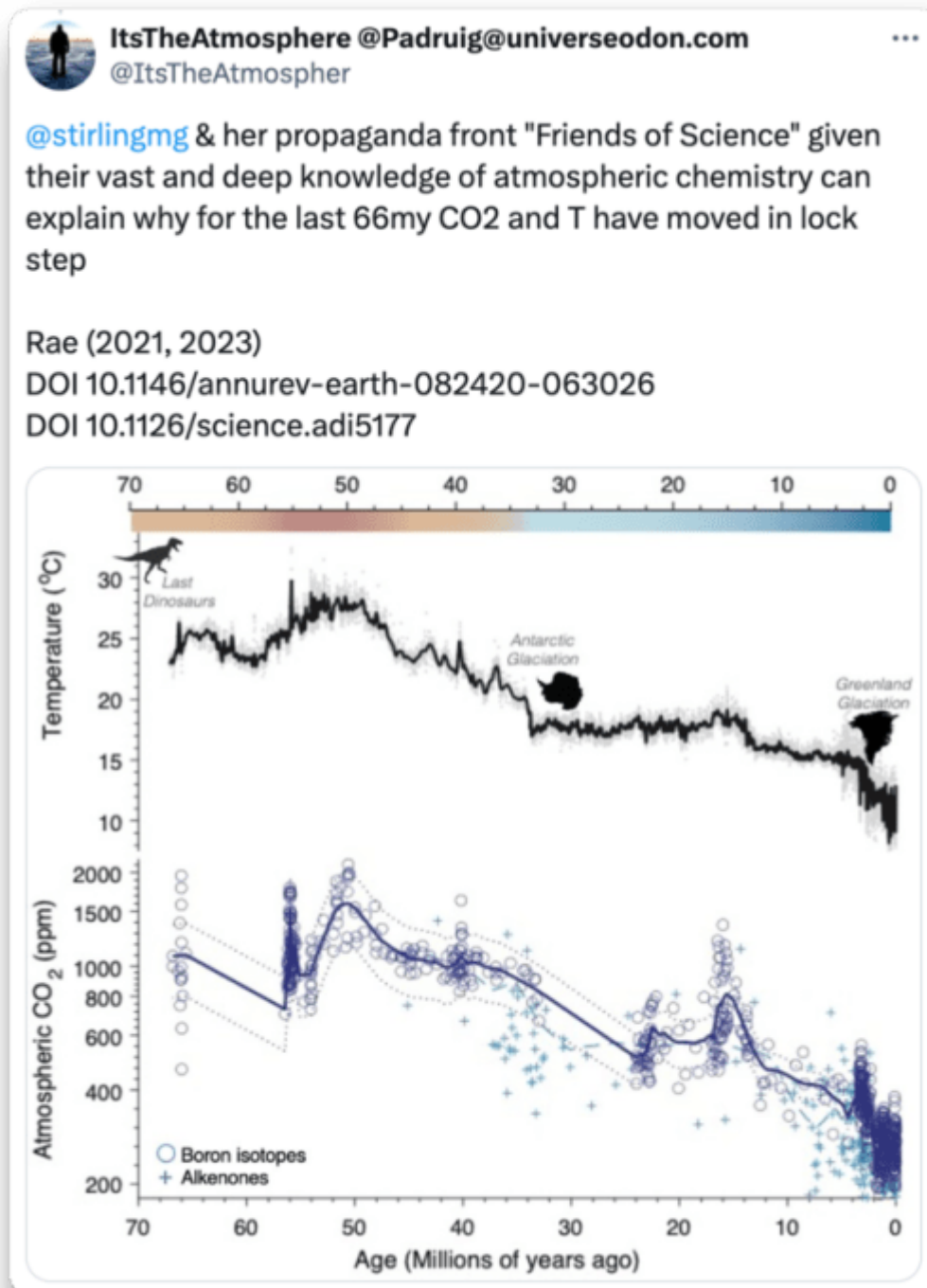


Abbildung 1. Beitrag auf X mit einer gekürzten Version der ursprünglichen Abbildung 6 aus der weiter unten verlinkten

Studie.

Das sieht nach einer interessanten Studie aus. Paläo-CO₂-Werte bis vor etwa 65 Millionen Jahren, die bei etwa 2000 ppmv ihren Höhepunkt erreichten.

Das erinnerte mich an eine frühere Grafik von mir, welche die Paläo-CO₂-Werte über eine viel längere Zeitspanne zeigte. Die obige Abbildung 1 deckt nur die Zeitalter des Tertiärs und des Quartärs ab, also die beiden Kästchen ganz rechts in Abbildung 2 unten:

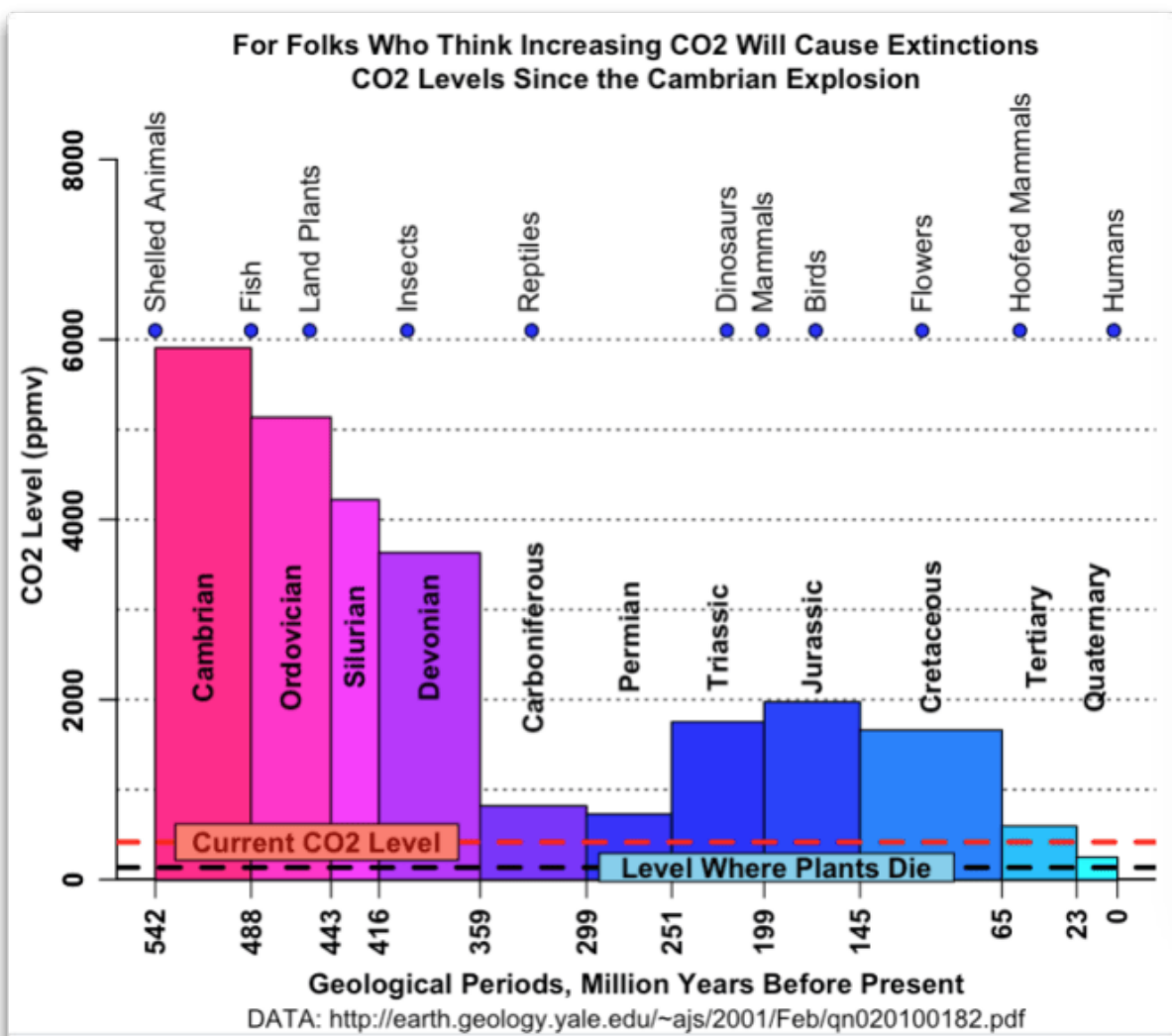


Abbildung 2. Vollständiger Verlauf des CO₂-Gehaltes seit der kambrischen Explosion des Lebens.

Also ging ich zu der in Abbildung 1 genannten Quelle, einer Studie mit dem Titel „Atmospheric CO₂ over the Past 66 Million Years from Marine Archives“ von Rae et al. Die folgende Grafik ist eine gekürzte Version

von Abbildung 6 der Studie von Rae et al.:

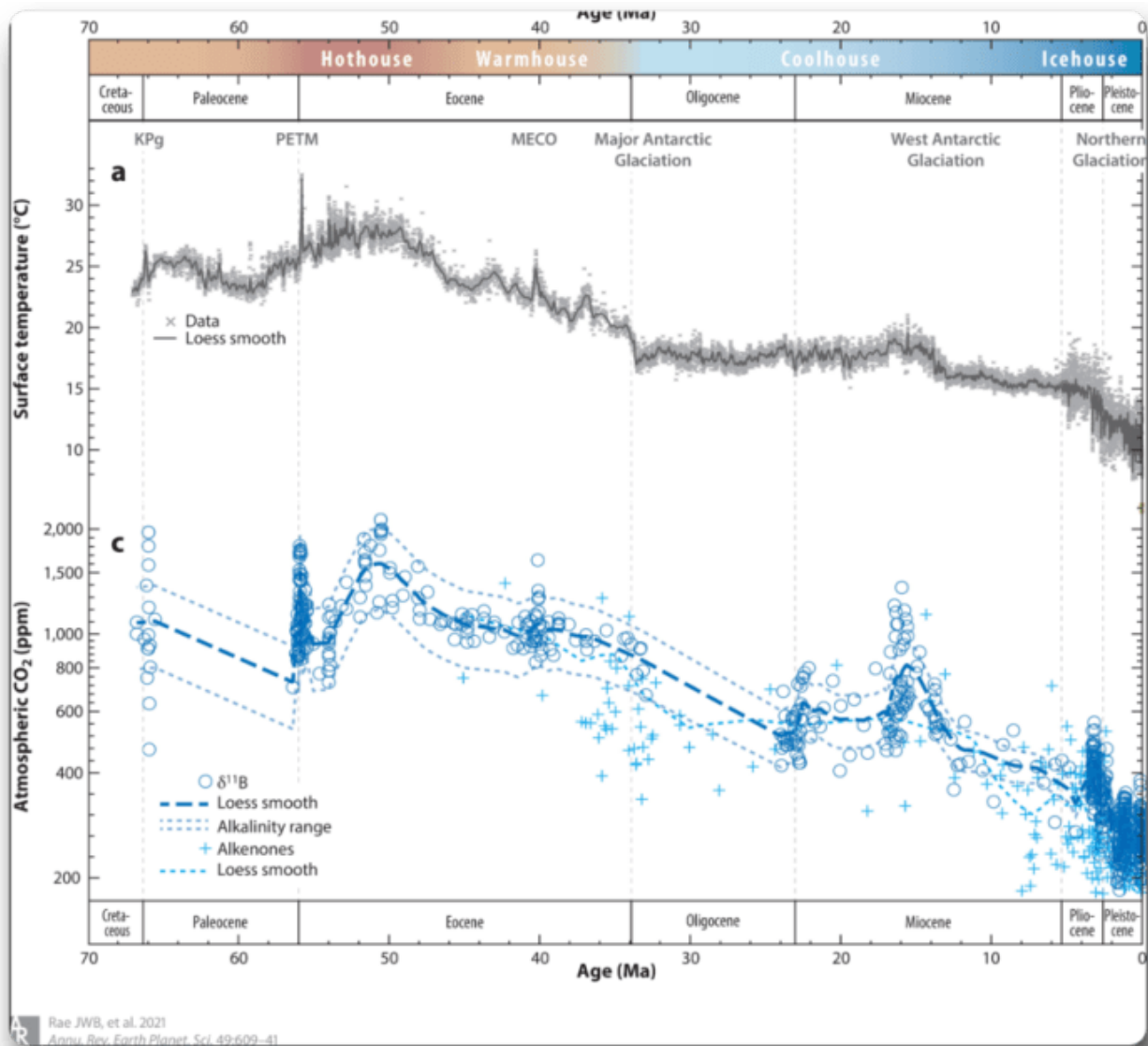


Abbildung 3. Tafeln a) und c) von Rae et al., Abbildung 6

Die Autoren haben sich voll und ganz auf die „CO₂-Roolz-Klima“-Theorie eingelassen und sagen u.a.:

Veränderte CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre werden seit langem mit der gut dokumentierten Abkühlung des Klimas im Känozoikum in Verbindung gebracht; abgesehen von einer Handvoll gut untersuchter Klimaübergänge war es jedoch schwierig, eine enge Verbindung zwischen CO₂ und Klima herzustellen. Unsere neue kombinierte CO₂-Zusammenstellung auf Meeresbasis zeigt deutlicher als in früheren Studien eine enge Korrelation zwischen CO₂ und Aufzeichnungen der globalen Temperatur (entweder auf der Grundlage geochemischer Rekonstruktionen und/oder des Zustands der Kryosphäre) während des gesamten Känozoikums (Abbildung 6).

'''

Nichtsdestotrotz ist es trotz dieser Vorbehalte klar, dass atmosphärisches CO₂ und Temperatur eng miteinander gekoppelt sind, sowohl im gesamten Datensatz als auch in kürzeren Zeitfenstern. Während der Datensatz als Ganzes auf eine relativ hohe Klimasensitivität hindeutet, wird ein Großteil dieser Temperaturänderung offenbar durch Sprünge zwischen verschiedenen Klimazuständen erreicht.

Ich habe mich gefragt, warum sie nicht den Wert der, wie sie behaupten, „relativ hohen Klimasensitivität“ für den Datensatz als Ganzes erwähnt haben. Also schaute ich mir die Daten an.

Bei den CO₂-Daten war das ganz einfach. Die Daten werden in einer Excel-Datei im [Zusatzmaterial](#) zur Verfügung gestellt.

Bei den Temperaturdaten ist das Gegenteil der Fall. Sie sagen „Temperatur geschätzt aus dem benthischen [6180-Stapel](#) von Westerhold et al. (2020), unter Verwendung des [Algorithmus](#)‘ von Hansen et al. (2013)“ ... nur dass sie nicht die entsprechenden Links zu den Daten oder dem Algorithmus angeben.

Grrr. Ich habe das getan, Westerholds Daten ausgegraben, den Hansen-Algorithmus gefunden und angewandt, Links oben – und das hat eine ganze Weile gedauert.

Auf jeden Fall sind hier ihre CO₂-Daten:

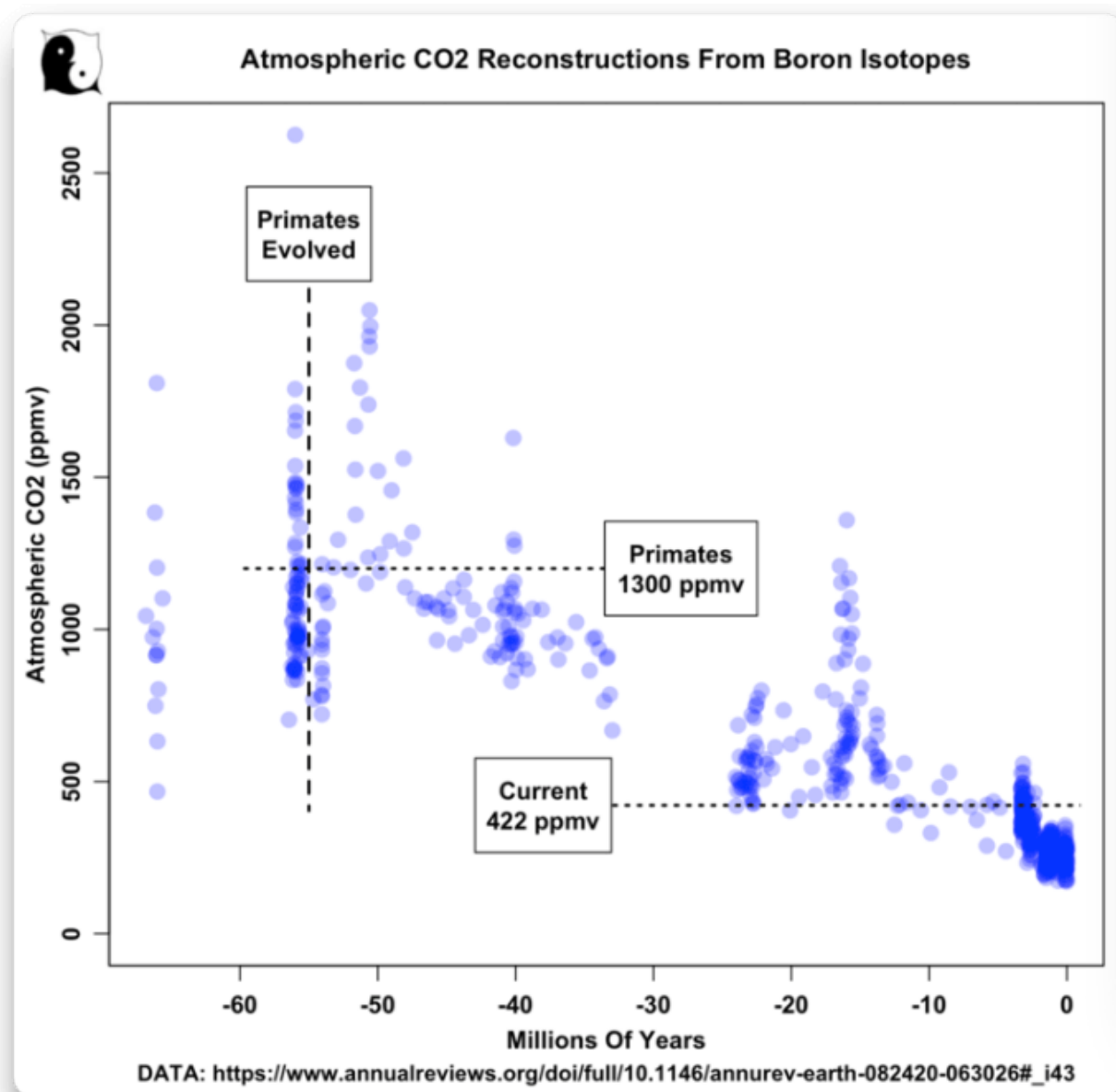


Abbildung 4. Paläo-CO₂-Werte bis vor 66 Millionen Jahren

Unsere heutigen Werte sind weit entfernt von den höchsten Werten der letzten 5 Millionen Jahre, geschweige denn von 60 Millionen Jahren. (Bitte beachten Sie, dass ich keine LOWESS-Glättung der Daten vorgenommen habe, da dies die Daten von zig Millionen Jahren quasi erfinden würde).

Meine nächste Frage war natürlich, wie gut die Temperatur mit dem Logarithmus der CO₂-Werte übereinstimmt. Abbildung 5 zeigt diese Beziehung:

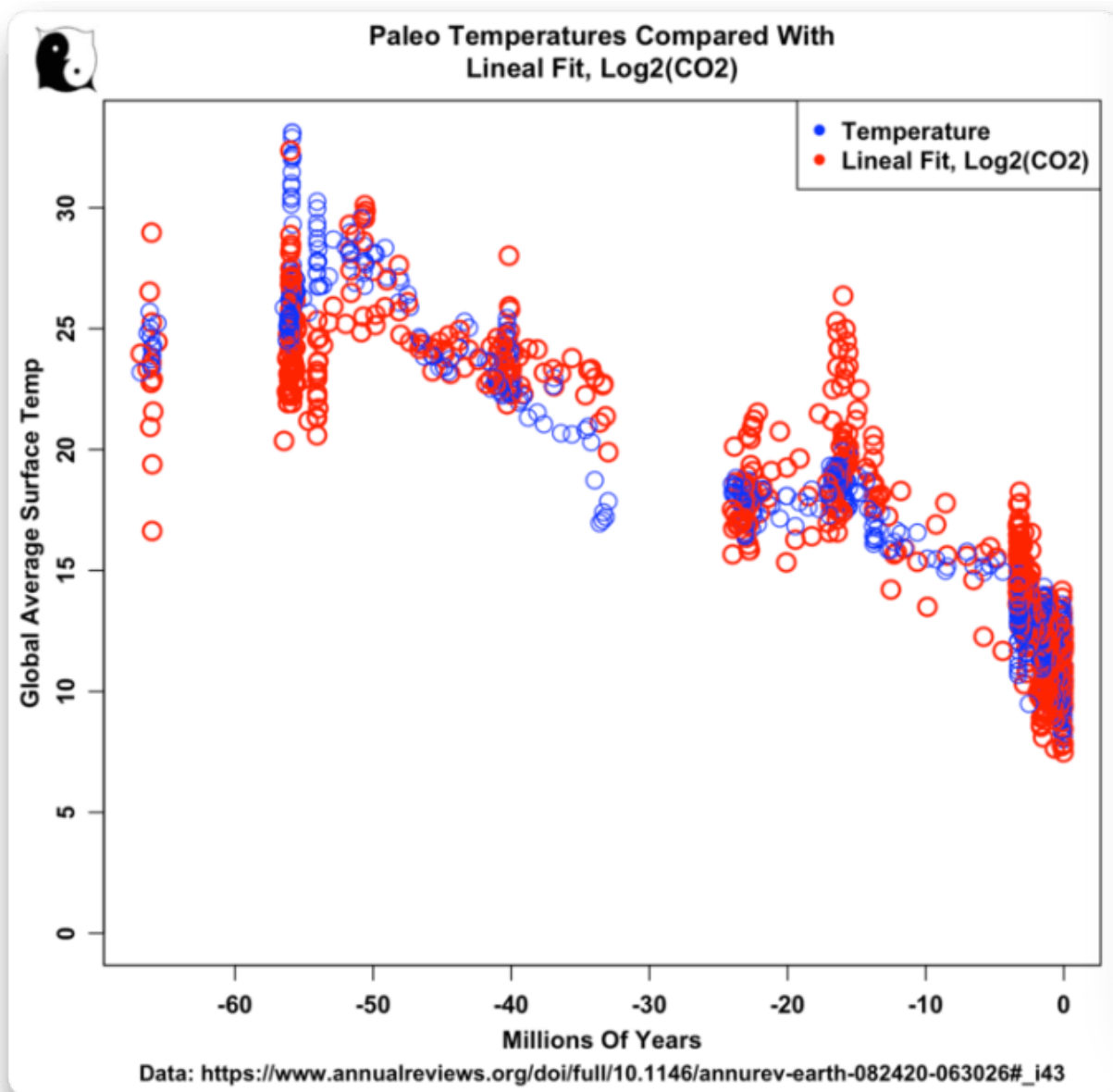


Abbildung 5. Paläo-Temperaturen und lineare Anpassung des Logarithmus' zur Basis 2 der CO₂-Werte.

Ich muss sagen, dass dies eine sehr gute Übereinstimmung für Klima- und Paläo-Standards ist, wo Messungen immer unsicher sind.

Als nächstes habe ich mir den unübersichtlichen Bereich unten rechts genauer angesehen. Das ist die Zeit der „Eiszeiten“, also Perioden der Vergletscherung, gefolgt von Wärmeperioden. Abbildung 6 zeigt die Eiszeiten:

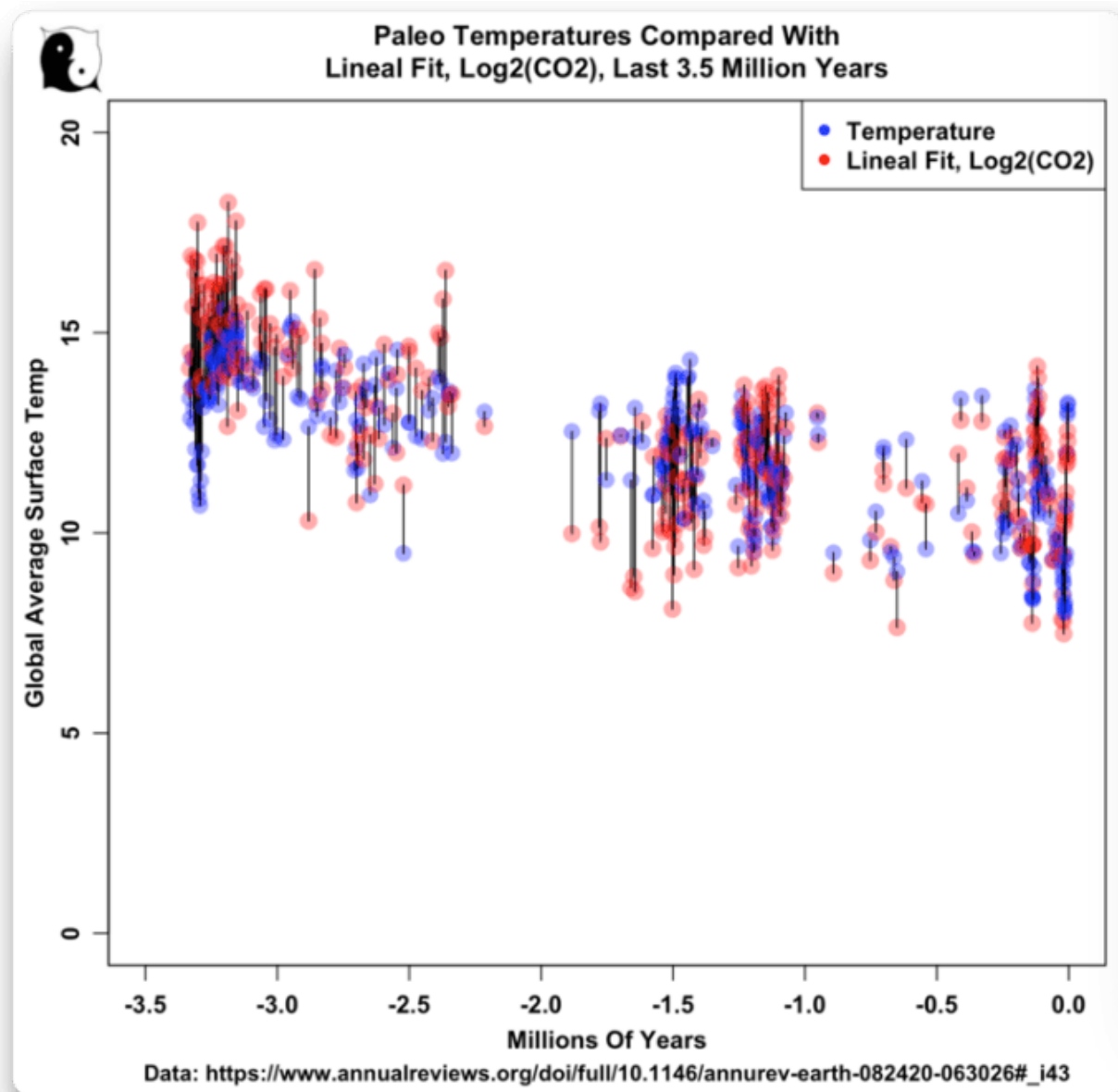


Abbildung 6. Paleo-Temperaturen und lineare Anpassung des Logarithmus' zur Basis 2 der CO₂-Werte. Ich habe Linien zwischen der Temperatur und den angepassten CO₂-Werten für jeden Messzeitpunkt eingezeichnet.

Noch einmal: Nach den Maßstäben von Paläo und Klima sind dies gute Anpassungen.

Also ... was gibt es daran nicht zu mögen? Zeigt dies tatsächlich, dass CO₂ in Höhe von 0,04 % der Atmosphäre wirklich der geheime globale Temperaturregler ist, wie die Autoren behaupten?

Vielleicht nicht.

Schauen wir uns zunächst einmal die Berechnungen an. Ich werde die Mathematik aufteilen, um Leute, die Mathe nicht mögen, nicht zu stören ... für Sie, überspringen Sie einfach diesen Abschnitt. Hier ist die Zusammenfassung der linearen Anpassung von $\log_2(\text{CO}_2)$ und Temperatur:

Koeffizienten:

	Estimate	Std. Error	t value	P-value
(Intercept)	7.4810	0.1954	38.3	<2e-16
log2_CO ₂	6.3137	0.1087	58.1	<2e-16

Residual standard error: 2.468 on 644 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.8398, Adjusted R-squared: 0.8395
F-statistic: 3375 on 1 and 644 DF, p-value: < 2.2e-16

„log2_CO₂“ ist der Logarithmus zur Basis 2 der Veränderung von CO₂. Der oben fettgedruckte „Schätzwert“ von 6,3 ist die Klimasensitivität, die Schätzung der Temperaturänderung, die einer Verdoppelung des CO₂ entspricht.

Also ja, wie die Autoren oben sagen, zeigt dies eine „relativ hohe Klimasensitivität“. Die Klimasensitivität von 6,3 ist die dritthöchste von 172 verschiedenen früheren Schätzungen der Klimasensitivität. Hier ist ein Blick auf frühere Schätzungen:

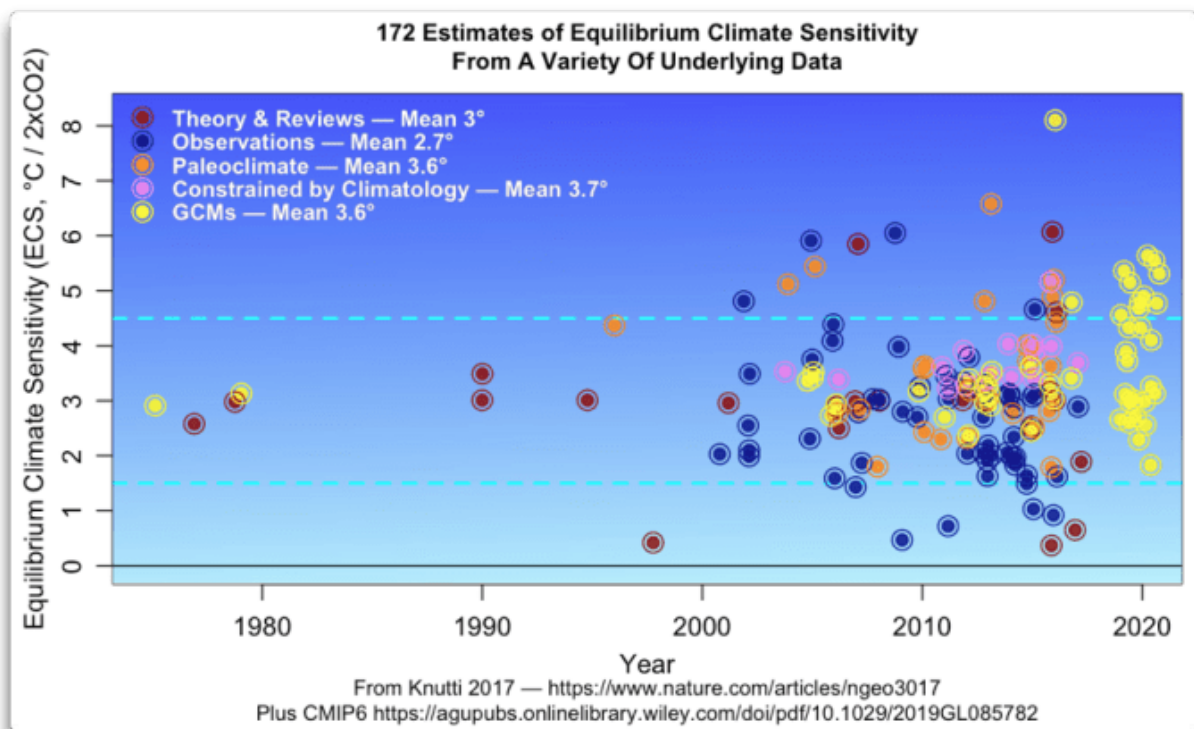


Abbildung 7. Schätzungen der Klimasensitivität aus Theorie und Übersichten, Beobachtungen, Paläoklima, Klimatologie und GCMs.

Ein weiteres Problem, abgesehen davon, dass die Klimasensitivität eine der höchsten der 173 Schätzungen ist, sind die in Abbildung 2 dargestellten viel höheren CO₂-Werte in der Vergangenheit. Wenn die Klimasensitivität bei 6,3 °C pro Verdopplung liegt, würde das bedeuten, dass die globale durchschnittliche Temperatur im Kambrium bei etwa 40 °C und im Devon bei etwa 36 °C lag ... das erscheint unwahrscheinlich.

Es gibt jedoch ein größeres Problem. Die CO₂-Theorie besagt, dass ein Anstieg des CO₂ mehr aufsteigende langwellige Strahlung absorbiert. Dies führt zu einem Ungleichgewicht in der Nettostrahlung am oberen Rand der Atmosphäre, da ein Teil der aufsteigenden langwelligen Strahlung zurück an die Oberfläche geleitet wird. Der Betrag dieser erhöhten abwärts gerichteten Strahlung wird als CO₂-Antrieb bezeichnet.

Die Temperatur steigt daraufhin und erhöht die aufsteigende langwellige Oberflächenstrahlung, um das Gleichgewicht wiederherzustellen.

Abbildung 8 unten zeigt den Schwierigkeitsfaktor. Wenn sich die Erdoberfläche erwärmt, gibt sie gemäß der so genannten Stefan-Boltzmann-Gleichung mehr Strahlung ab. Die folgende Abbildung 8 zeigt den erhöhten Treibhauseffekt aufgrund der gestiegenen CO₂-Konzentration in der Vergangenheit und den entsprechenden Anstieg der aufsteigenden langwelligen Oberflächenstrahlung aufgrund des Temperaturanstiegs:

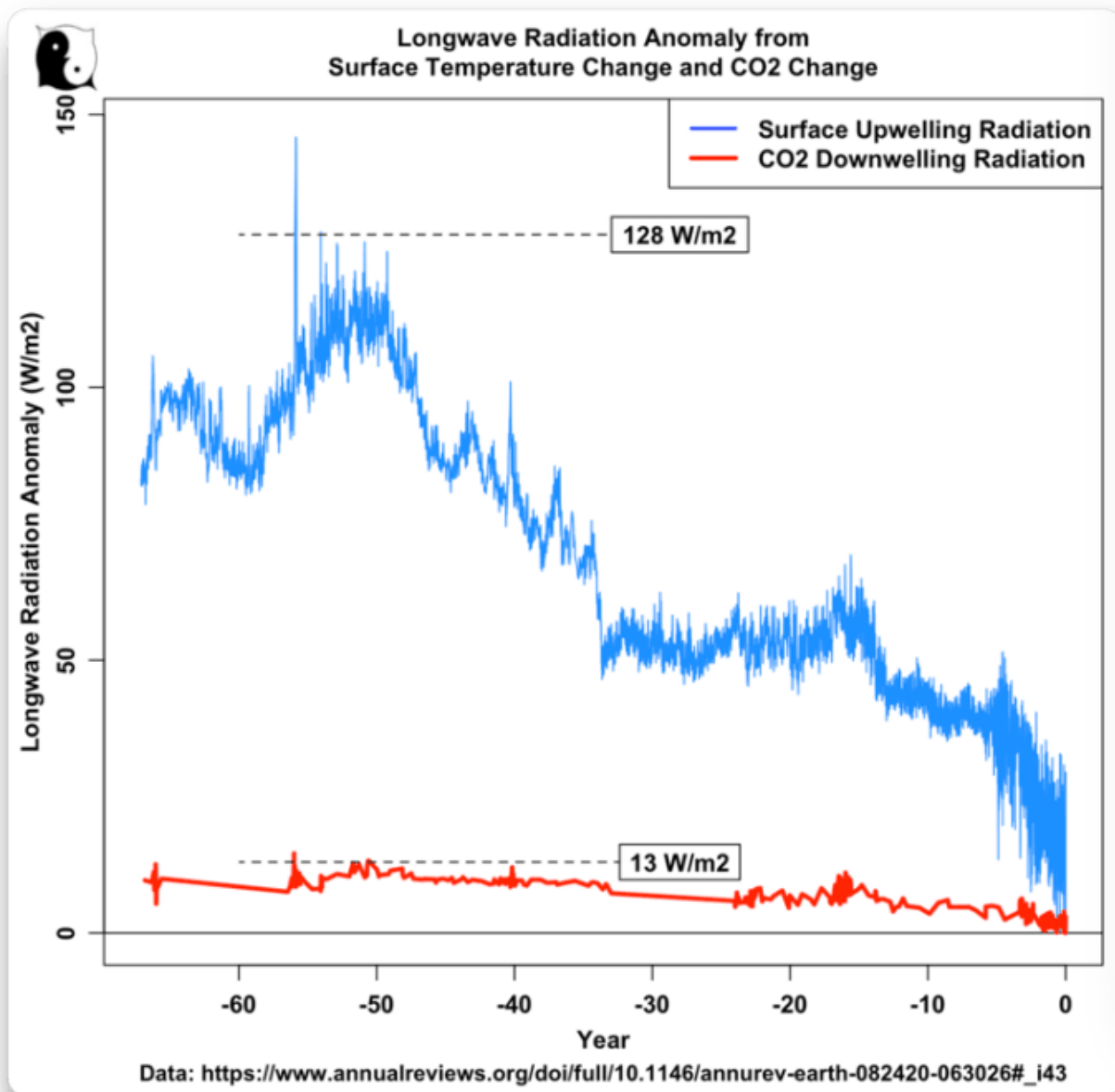


Abbildung 8. Veränderungen der aufsteigenden langwelligen Oberflächenstrahlung und der absteigenden atmosphärischen langwelligen Strahlung aufgrund von CO₂.

Aha! Das ist also die Perplexität – wir sollen glauben, dass eine Änderung des CO₂-Antriebs von **13 W/m²** eine entsprechende Änderung der aufsteigenden langwelligen Oberflächenstrahlung um **128 W/m²** verursacht.

Aber woher kommt die zusätzliche Energie? Es scheint, als ob der Schwanz mit dem Hund wedelt. Nach Berücksichtigung der 13 W/m² CO₂-Antrieb gibt es weitere 115 W/m² an zusätzlicher Energie, welche die Oberfläche verlässt ... aber woher kommt das alles?

Zum Vergleich: Die von der Oberfläche absorbierte Sonnenenergie beträgt 164 W/m². Die Oberfläche muss also weitere drei Viertel der Energie einer Sonne von ... irgendwoher bekommen...

Es müsste sich um eine außerordentlich große Rückkopplung zur Erwärmung handeln, wenn dies die Ursache für die weitere Erwärmung wäre. Der Rückkopplungsfaktor müsste $\sim 0,9$ sein ... und wenn der Rückkopplungsfaktor größer als $1,0$ ist, wächst er ohne Ende. Und das würde bedeuten, dass die natürlichen Schwankungen dieser Rückkopplung irgendwann in der Vergangenheit zu einem endlosen Wachstum geführt hätten.

Und es ist schwierig, sich einen physikalischen Prozess vorzustellen, welcher der Oberfläche diese 115 W/m^2 zuführen würde. Beispielsweise reflektiert die Albedo der Wolken insgesamt etwa 75 W/m^2 zurück ins All. Wenn also die positive Wolkenrückkopplung zum vollständigen Verschwinden der Wolken führen würde, würde dies die von der Oberfläche absorbierte Sonnenstrahlung nur um 66 W/m^2 erhöhen, wenn man die erhöhte Oberflächenreflexion berücksichtigt ... und wir suchen nach 115 W/m^2 .

Das Gleiche gilt für die positive Wasserdampf-Rückkopplung. Die Zahlen sind nicht groß genug. Der [IPCC AR6 WG1 Kapitel 7 Abschnitt 7.4.2.2](#) schätzt die kombinierte Rückkopplung von Wasserdampf und Lapse-Rate auf $1,12 \text{ W/m}^2$ pro $^{\circ}\text{C}$ Erwärmung. Die Erwärmung bis vor 60 Millionen Jahren beträgt etwa 15°C . Die Rückkopplung von Wasserdampf und Sturzeschwindigkeit würde also in der Größenordnung von $15^{\circ}\text{C} * 1,12 \text{ W/m}^2$ pro $^{\circ}\text{C} = 17 \text{ W/m}^2$ liegen ... und wir suchen nach 115 W/m^2 .

Was sonst ... die Paläo-Temperatur oder das Paläo- CO_2 könnten falsch berechnet worden sein, in diesem Fall zeigt das alles nichts.

Eine letzte Möglichkeit ist natürlich, dass die Erwärmung wenig mit CO_2 zu tun hat und dass die CO_2 -Werte eine Funktion der Temperatur sind und nicht umgekehrt ...

Ich habe diesen Beitrag mit „Ein seltsames Paleo-Puzzle“ betitelt. Und das hier ist das Rätsel: **Wie kann ein Anstieg des CO_2 -Antriebs um 13 W/m^2 einen Anstieg der aufsteigenden langwelligen Oberflächenstrahlung um 115 W/m^2 verursachen?**

Alle Vorschläge sind willkommen.

Daten: Ich habe zwei CSV-Dateien mit den in dieser Analyse verwendeten Daten erstellt, damit sie in Excel oder einer Computersprache Ihrer Wahl verwendet werden können. Die eine enthält die Temperaturen, 23.722 verschiedene Paläo-Messungen.

Die andere enthält die Paläo- CO_2 -Daten, 646 Messungen. Diese enthält auch die Temperaturen aus dem anderen Datensatz, interpoliert zu den Daten der CO_2 -Messungen. Dies ermöglicht die Berechnung und grafische Darstellung der Beziehung zwischen den Datensätzen.

Die Datensätze: „[Rae \$\text{CO}_2\$ and Interpolated Temps.csv](#)“ und „[Rae Temperatures.csv](#)“.

Link: <https://wattsupwiththat.com/2024/02/23/a-curious-paleo-puzzle/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE