

CO₂-Ausgasung des Ozeans in Abhängigkeit von der Temperatur

geschrieben von Chris Frey | 17. April 2025

Willis Eschenbach

In dem stets interessanten Blog von Dr. Jennifer Marohasy stellt sie eine interessante [Behauptung](#) über die CO₂-Ausgasung der Ozeane auf:

Man stelle sich Folgendes vor: Es ist ein heißer Tag, und man greift nach einer Getränkendose, die in der Sonne gestanden hat. Man öffnet sie – pssst – und CO₂ sprudelt heraus, kitzelt die Nase und bespritzt vielleicht das Hemd, wenn man langsam ist. Es ist ein kleines Chaos, ein Ausbruch, den man nicht kontrollieren kann. Stellen wir uns nun vor, dass dieses Sprudeln über die sonnenerwärmte Oberfläche des Ozeans, die 71 % der Erde bedeckt, CO₂ in die Luft sprudelt, die wir atmen. Wild, oder? Ein bisschen verrückt. Ich denke, das ist ein fehlendes Teil des Klimapuzzles.

Nun ist es unbestreitbar, dass wärmeres Meerwasser weniger CO₂ enthält als kälteres Wasser. Wenn die Temperatur steigt, gast das CO₂ aus dem Ozean aus. Aber das war nicht meine Frage. Nachdem ich ihren Beitrag gelesen hatte, lautete meine Frage: „Wie viel?“.

Wie viel CO₂ wird bei einem Anstieg der Meerestemperatur um 1° freigesetzt?

Mein erster Schritt war ein Blick auf die Daten des Vostok-Eiskerns. Sie zeigen, dass der CO₂-Gehalt um etwa 100 ppmv stieg, als die Erdtemperatur um etwa 5°C zunahm. Daraus ergibt sich ein CO₂-Ausgasungstrend von ~20 ppmv pro 1°C Temperaturanstieg.

Ganz so einfach ist es jedoch nicht. Während der Eiszeit war ein größerer Teil des Ozeans mit Meereis bedeckt, wodurch sich die ausgasende Meeresfläche verringerte. Um wie viel? Schätzungen gehen von einer Fläche von 30 Millionen km² aus, was etwa 8,2 % des heutigen eisfreien Ozeans entspricht. Das würde den Wert also auf ~ 18 ppmv/°C senken.

Als Nächstes wandte ich mich an meine KI, Perplexity, die mir das Folgende lieferte:

Um den Anstieg des atmosphärischen CO₂ bei einem Anstieg der Meerestemperaturen um 1°C abzuschätzen, sind das Henry'sche Gesetz und die Gleichgewichtsdynamik zwischen dem Ozean und der Atmosphäre von entscheidender Bedeutung. Hier ist eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus einschlägigen Studien:

- Henrys Gesetz und Temperaturabhängigkeit

Das Henry'sche Gesetz besagt, dass die Konzentration von gelöstem CO_2 im Meerwasser (C) proportional zu seinem Partialdruck in der Atmosphäre (p) ist: $C = k_H * p$, wobei (k_H) die Henry-Konstante ist, die mit steigender Temperatur abnimmt (was die Löslichkeit von CO_2 verringert). Ein Temperaturanstieg um 1 °C verringert beispielsweise (k_H) um ~4 % [1] [6]. Dadurch verschiebt sich das Gleichgewicht und CO_2 wird aus dem Ozean in die Atmosphäre freigesetzt.

- Modell-Schätzungen

1. Vereinfachtes Ozean-Schichtmodell:

Unter Verwendung einer 100 m tiefen Oberflächenschicht, die CO_2 mit der Atmosphäre austauscht, erhöht ein Anstieg um 1 °C das atmosphärische CO_2 um ~6 ppm [1]. Dabei wird jedoch von einer begrenzten vertikalen Durchmischung ausgegangen, so dass die volle Reaktion des Ozeans möglicherweise unterschätzt wird.

– In tieferen Schichten (z. B. 3800 m) könnte derselbe Temperaturanstieg ~20 ppm [1] ergeben, was mit den Übergängen zwischen den Eiszeiten übereinstimmt, bei denen eine Erwärmung um 5 °C einem Anstieg von ~90 ppm CO_2 (~18 ppm/°C) entsprach [1] [7].

2. Moderner Kontext:

Neuere Studien weisen auf komplexe Zusammenhänge wie die thermische Außenschicht des Ozeans und die vertikale Durchmischung hin. Die Korrektur von Temperaturgradienten zwischen der Meeresoberfläche und der Probenahmetiefe erhöht die geschätzte CO_2 -Aufnahme um 0,8-0,9 PgC/Jahr [2], aber dies konzentriert sich auf die aktuellen anthropogenen Flüsse und nicht auf Gleichgewichtsreaktionen.

- Schlüsselvariablen

– Tiefe der Mischungsschicht: In flachen Schichten (z. B. 100 m) ist die CO_2 -Freisetzung geringer als in tieferen Schichten [1].

– Pufferung durch Karbonatchemie: Bei der Auflösung von CO_2 entsteht Kohlensäure, die in Ionen dissoziert, was die Komplexität über das Henry'sche Gesetz hinaus erhöht [5] [6]. Dies puffert pH-Änderungen ab, verhindert aber nicht die langfristige CO_2 -Freisetzung bei steigenden Temperaturen.

- Synthese

Der geschätzte Anstieg reicht von 6-20 ppm/°C, je nach Annahmen über die Durchmischungstiefe des Ozeans und die Zeitskala. Das höhere Ende (~18 ppm/°C) stimmt mit paläoklimatischen Belegen [1] [7] überein, während moderne Modelle aufgrund der laufenden Aufnahme durch den Ozean [2] [3]

niedrigere Werte vorschlagen. In diesen Schätzungen sind Rückkopplungen wie biologische Reaktionen oder Veränderungen der Ozeanzirkulation nicht berücksichtigt.

Referenzen:

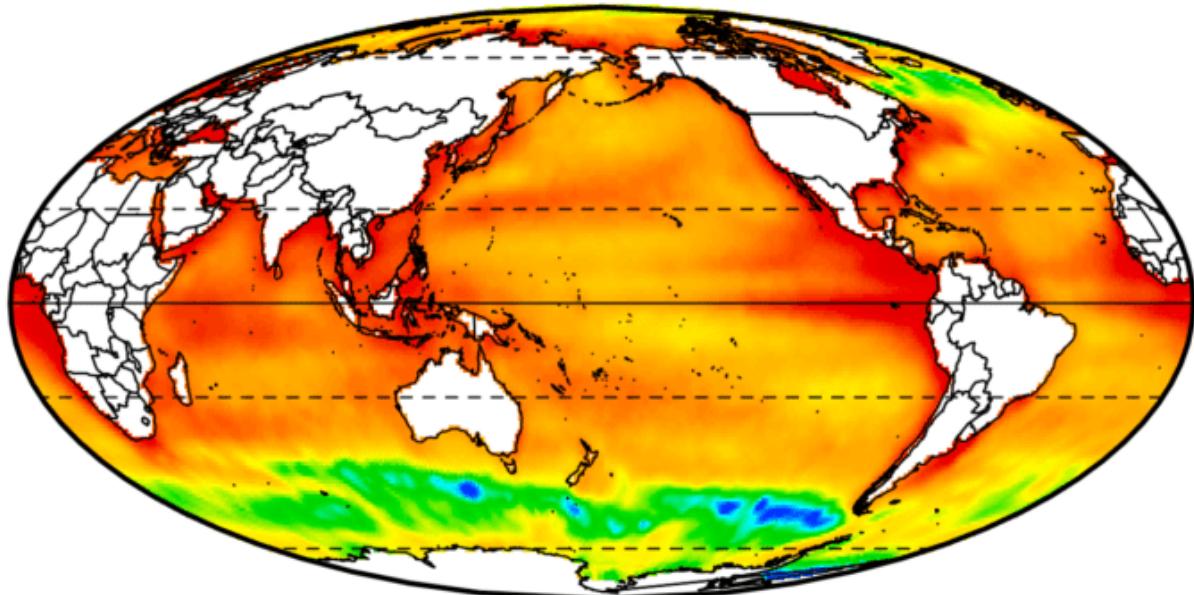
- [1] <https://andthentheresphysics.wordpress.com/2013/10/28/henrys-law/>
- [2] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7474059/>
- [3] <https://phys.org/news/2024-03-sea-surface-temperature-evidence-human.html>
- [4] <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2008gb003449>
- [5] <https://worldoceanreview.com/en/wor-8/the-role-of-the-ocean-in-the-global-carbon-cyclee/how-the-ocean-absorbs-carbon-dioxide/>
- [6] <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2318779121>
- [7] [https://oxfordre.com/climatescience/display/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-885](https://oxfordre.com/climatescience/display/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-885?p=emailAMn6v3nLVKpFs&d=%2F10.1093%2Facrefore%2F9780190228620.001.0001%2Facrefore-9780190228620-e-885)
- [8] <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-environ-120920-111307?download=true>
- [9] <https://cp.copernicus.org/articles/20/1177/2024/>
- [10] <https://cp.copernicus.org/articles/11/991/2015/cp-11-991-2015.pdf>

Dies war aus mehreren Gründen interessant. Erstens ist meine Schätzung der langfristigen Veränderung (~18 ppmv/°C) die gleiche wie ihre. Sie weisen jedoch auf etwas hin, an das ich nicht gedacht hatte: Der kurzfristige Anstieg ist auf die Erwärmung der gesamten Mischschicht zurückzuführen (je nach Standort in einer Tiefe von 15 bis 200 m, im Durchschnitt ~60 m), nicht nur auf die Erwärmung der Temperatur der Meeresoberfläche.

Mixed Layer Depth



Avg Globe: -59.7 NH: -48.1 SH: -68.5 Trop: -46.1
Arc: -58.9 Ant: -98.4 Land: NaN Ocean: -59.7 m



DATA: http://www.ifremer.fr/cerweb/deboyer/data/mld_DT02_c1m_reg2.0.nc

Sie schätzen den kurzfristigen Anstieg unter Verwendung der Mischschicht auf eine Größenordnung von 6 ppmv/°C. In Anbetracht der sehr langsamem Durchmischung in der „Sprungschicht“ (dem Bereich mit schnellem Temperaturabfall am Boden der Mischschicht) würde ich denken, dass dies für unsere aktuelle Situation zur Erklärung eines kurzfristigen CO₂-Anstiegs relevanter wäre.

Für die Zwecke dieser Analyse nehme ich also einen Wert von ~ 10±4 ppmv für jede Erwärmung der oberen 100 Meter des Ozeans um 1°C an.

Und wie stark haben sich die obersten 100 Meter des Ozeans erwärmt?

Etwa 0,33°C von 1969 bis 2020, nach der [NASA](#).

In dieser Zeit stieg der CO₂-Gehalt um etwa 100 ppmv.

Wie viel davon stammte aus dem Meer? Nun, angesichts der obigen Daten ist es etwas in der Größenordnung von ~ 2 ppmv bis ~ 5 ppmv, was ebenfalls etwa 2 bis 5 % ausmacht.

Schlussfolgerung? Ich stimme zwar mit der guten Dr. M. überein, dass die Ausgasung aufgrund des Temperaturanstiegs der Ozeane ein „fehlender Teil

des Klimapuzzles“ ist, aber mit 2 % bis 5 % des CO₂-Anstiegs ist dies nur ein kleiner Teil des Klimapuzzles, und als solcher wird er bei der Gesamtanalyse im Allgemeinen ignoriert.

Ich danke Dr. Marohasy für all ihre hervorragenden Beiträge zur Klimadebatte.

Link:

[https://wattsupwiththat.com/2025/04/12/ocean-CO₂-outgassing-with-temperature/](https://wattsupwiththat.com/2025/04/12/ocean-CO2-outgassing-with-temperature/)

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE