

Veränderungen im Kohlenstoffgehalt der terrestrischen Biosphäre über glaziale Zeitskalen — eine Simulationsstudie

P. Köhler & H. Fischer

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft
Postfach 12 01 61, 27515 Bremerhaven, email: pkoehler@awi-bremerhaven.de

Zusammenfassung

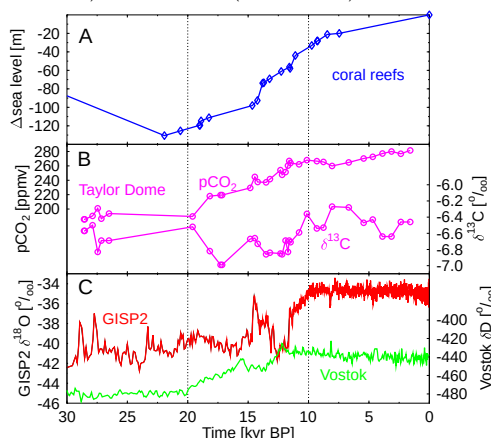
Der Kohlenstoffgehalt der terrestrischen Biosphäre während des Holozäns und des Letzten Glazialen Maximums (LGM) wurde mehrfach mit Hilfe von Daten und Gleichgewichtssimulationen abgeschätzt. Wir benutzen hier diese vormaligen Ergebnisse in einem einfachen global gemittelten Boxmodell der terrestrischen Biosphäre, das mit unterschiedlichen Klimaauflösungen (Temperatur, $p\text{CO}_2$, Meeresspiegeländerung) angetrieben wird, um den Übergang vom LGM via Termination I ins Holozän zu berechnen und um festzustellen, welche treibenden Kräfte nötig sind, um die beobachteten Veränderungen in der Biosphäre zu erklären. Klimaantriebe für diese Art Modelltyp für rezente Fragen des Klimawandels sind zu stark um den Glazial/Interglazial-Übergang zu erklären. Ungefähr 1600 PgC waren während des LGMs als terrestrischer Kohlenstoff gebunden, 600 PgC weniger als zu vorindustriellen Zeiten. Die aus unseren Simulationen berechnete Freisetzung vormals im Ozean gebundenen Kohlenstoffes war während der vergangenen 20 kyr in Phase mit dem atmosphärischen $p\text{CO}_2$ Rekord, aber durch den Aufbau der terrestrischen Bestände viermal größer als der Anstieg im $p\text{CO}_2$. Die berechneten Veränderungen in der isotopischen Signatur des ozeanischen $\delta^{13}\text{C}$ stimmen gut mit Daten überein. Im Gegensatz zu anderen Studien kann jedoch auch die terrestrische Biosphäre signifikant das atmosphärische $\delta^{13}\text{C}$ Signal während der Termination beeinflusst haben.

Einleitung

Variationen im Paläoklima bestimmten auch die Veränderungen im Kohlenstoffgehalt der Landbiomasse. Momentan wird diskutiert, ob während des Glazial/Interglazial-Überganges Veränderungen im atmosphärischen $p\text{CO}_2$ und $\delta^{13}\text{C}$ hauptsächlich durch den Ozean verursacht wurden, wohingegen der terrestrischen Biosphäre zu Zeiten des Holozäns und des LGMs eine dominante Rolle zugeschrieben wird (Indermühle et al., 1999; Broecker et al., 2001; Fischer et al., 2003).

In dieser Studie wollen wir die Diskussion mit einem durch paläoklimatische Daten angetriebenen transienten Modellierungsansatz erweitern.

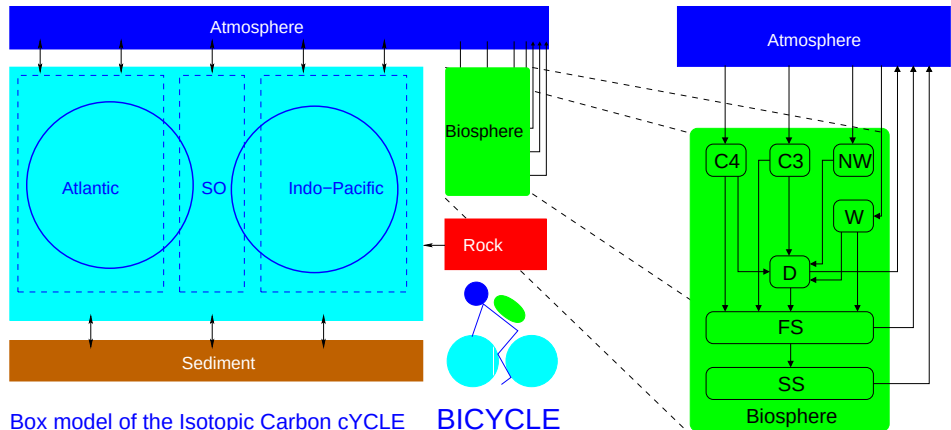
Zeitabhängige Antriebskräfte. A: Meeresspiegel (Fairbanks, 1990). B: atmosphärisches $p\text{CO}_2$ aus dem Taylor Dome Eiskern (Smith et al., 1999). C: Eiskernisotopendaten als Proxies für Temperaturänderungen. GISP2, Grönland (Grootes und Stuiver, 1997) und Vostok, Antarktis (Jouzel et al., 1987).



Modell und Daten

Unser Boxmodell der terrestrischen Biosphäre basiert auf früheren Arbeiten (Emanuel et al., 1984; Khesghi and Jain, 2003). Der vorindustrielle Gleichgewichtszustand wurde mit Hilfe von Literaturwerten parametrisiert. Zu jener Zeit sind ungefähr 2200 PgC im terrestrischen System gebunden (Vegetation: 700 PgC; Böden: 1500 PgC). Unser Modell wird durch diverse Zeitreihen angetrieben. Über für Vegetation verfügbare Landfläche, CO_2 Düngung, und durch Temperaturschwankungen induzierte metabolische Veränderungen in der Nettoprimärproduktion NPP und der Respiration wird die Dynamik der terrestrischen Biosphäre angetrieben. Während Meeresspiegeländerungen nur eine untergeordnete Rolle spielen ($\sim 4\%$), können die Temperatur- und CO_2 -Effekte jeweils allein für die beobachteten Glazial/Interglazial-Unterschiede verantwortlich sein.

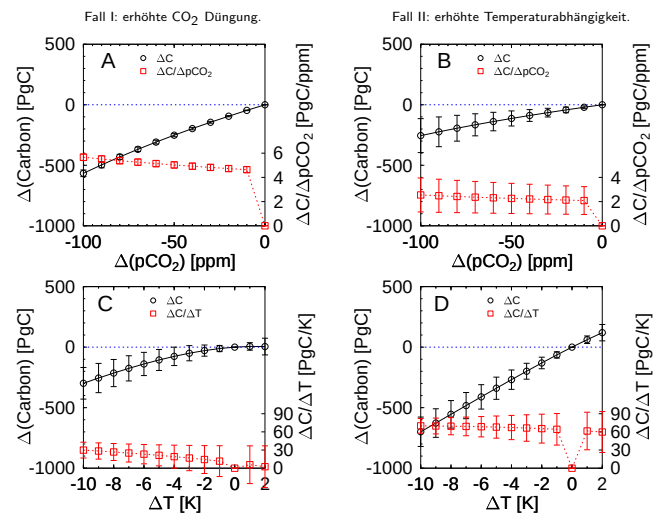
Modellstruktur von BICYCLE (Box model of the Isotopic Carbon CYCLE), dessen terrestrische Biosphäre hier verwendet wird. C4 und C3 Grassvegetation; nichtholzerne (NW) und holzerne (W) Teile von Bäumen; Detritus (D); sich schnell (FS) und langsam (SS) zersetzende Böden. Pfeile deuten C-Flüsse an.



Box model of the Isotopic Carbon CYCLE

BICYCLE

Der Einfluss unterschiedlichen CO_2 und Temperatur auf die Gesamtbiomasse wurde in Gleichgewichtssimulationen analysiert.

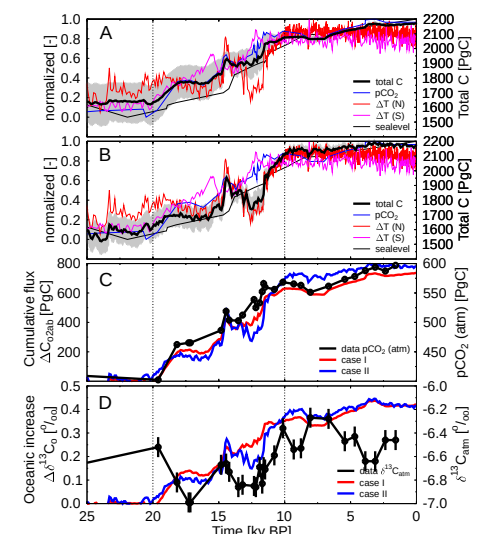


Ergebnisse

Rezente Antriebe sind zu stark um den glazialen Kohlenstoffgehalt in der Biosphäre zu erklären. Der Mittelwert des terrestrischen C im LGM aus ca. 10000 unterschiedlichen Antriebskombinationen bleibt mit 1600 PgC sehr stabil, sein Unsicherheitsbereich wird durch die Hinzunahme von zusätzlicher Informationen jedoch deutlich reduziert. Anhand detaillierter Untersuchungen identifizieren wir zwei Fälle von je 10-15 Einzelsimulationen, deren mittlere Dynamik bisherigen Untersuchungen entspricht. Sie unterscheiden sich weiterhin in der Stärke der Antriebskräfte (CO_2 Düngung vs. Temperatureffekt).

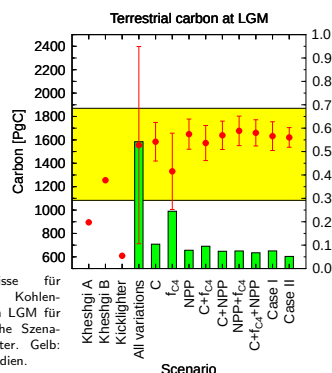
Es ist nun möglich, den resultierenden Fluss zwischen Ozean und Atmosphäre/Biosphäre zu berechnen. Während der Termination setzt der Ozean ca. 800 PgC frei. Dieser Kohlenstofffluss ist in Phase mit den atmosphärischen Veränderungen und in etwa das Vierfache des CO_2 -Anstieges. Der Glazial/Interglazial-Anstieg in ozeanischem $\delta^{13}\text{C}$ von etwa 0.4‰ stimmt mit Messwerten überein. Aus diesem Ergebnis ergibt sich jedoch auch die Möglichkeit, dass auch auf glazialen Zeitskalen die terrestrische Biosphäre als treibende Kraft für die beobachteten Veränderungen im atmosphärischen $\delta^{13}\text{C}$ zu nennen ist.

Transiente Modellergebnisse für die terrestrische Biosphäre. A: erhöhte CO_2 Düngung; B: erhöhte Temperaturabhängigkeit. Grau unterlegt ist der Fehlerbereich (1 SD). Kumulative Kohlenstoffflüsse (C: Kohlenstoff; D: isotopische Signatur) aus dem Ozean in das Atmosphäre/Biosphäre-Teilsystem. Simulationsergebnisse (I: erhöhte CO_2 Düngung; II: erhöhte Temperaturabhängigkeit) verglichen mit atmosphärischen Eiskerndaten aus Taylor Dome.



Referenzen

Broecker et al. 2001: G^3 2, 2001G000177.
Emanuel et al., 1984. Ecology 65:970-983.
Fairbanks. 1990. Paleoceanography 5:937-948.
Fischer et al. 2003. Mem Natl Inst Polar Res. 57: 121-138.
Grootes, Stuiver, 1997. JGR 102, 26455-26470.
Indermühle, et al. 1999. Nature 398:121-126.
Jouzel et al. 1987. Nature 329, 403-408.
Khesghi, Jain 2003. GBC 17 1047 101029/2001GB001842
Smith et al. 1999. Nature 400:248-250.



Modellergebnisse für terrestrischen Kohlenstoffgehalt im LGM für unterschiedliche Szenarien und Filter. Gelb: bisheriger Studien.