

Phosphormangel reduziert zukünftige Kohlenstoffsенke

Dr. Daniel Goll, Wissenschaftler in der Abteilung „Land im Erdsystem“ am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), hat erstmals eine globale Studie mit einem umfassenden Erdsystemmodell zur Limitierung der zukünftigen CO₂-Aufnahme (Senke) durch die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff vorgelegt. In seiner Dissertation fand er heraus, dass Erdsystemmodelle das Pflanzenwachstum und die Umwandlung von Kohlenstoff im Boden überschätzen, wenn sie die Verfügbarkeit von Phosphor und Stickstoff in den Ökosystemen vernachlässigen. Deshalb muss davon ausgegangen werden, dass Modelle, die diese Nährstoffe nicht berücksichtigen, die terrestrische Kohlenstoffsенke überschätzen und zukünftige CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre unterschätzen.

Klimamodelle, so auch das aktuelle Erdsystemmodell MPI-ESM des MPI-M, verwenden in den Szenarienrechnungen für die Zukunft üblicherweise einen Kohlenstoffkreislauf. Die Modelle simulieren damit - hervorgerufen durch die Zunahme der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre bis zum Ende des Jahrhunderts - einen deutlichen Anstieg der Nettoprimärproduktion (NPP), also eine wachsende Produktion von Biomasse durch Pflanzen. Sie berücksichtigen bis auf wenige Ausnahmen jedoch nicht, dass sowohl Stickstoff (N) als auch Phosphor (P) nur begrenzt verfügbar sind. Das ist problematisch, da Pflanzenwachstum und dadurch auch der Umsatz von Kohlenstoff (C) durch einen Mangel an P und N begrenzt werden kann.

Daniel Goll hat in seiner Dissertation das MPI-ESM, genauer das Landoberflächenmodell JSBACH (Jena Scheme for Biosphere-Atmosphere Coupling in Hamburg) im MPI-ESM, um einen Phosphorkreislauf erweitert. Der Stickstoffkreislauf ist bereits in JSBACH enthalten. Das biogeochemische Modul in JSBACH beschreibt u.a. das Pflanzenwachstum und die Zersetzung von Pflanzenmaterial sowie die Umverteilung von Nährstoffen im Boden. Daniel Goll hat untersucht, wie P und N das Pflanzenwachstum und den Umsatz von C im Boden beeinflussen, indem er mit Randwerten aus Simulationen mit dem globalen MPI-ESM (SRES A1B Szenario) die Kreisläufe von C, N und P mit JSBACH berechnet hat.

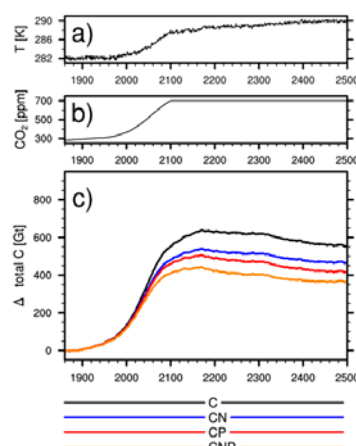


Abb.1: Simulierte Änderung der Aufnahme von C durch die Landoberfläche im A1B Szenario. Gezeigt werden die 10-Jahres-Mittel der Bodentemperatur (a), die CO₂-Konzentration, vorgegeben in der Simulation (b), und die resultierende C-Aufnahme durch die Landoberfläche (c). C – Nur Kohlenstoff - keine Nährstoffe berücksichtigt; CN – Stickstoff berücksichtigt; CP – Phosphor berücksichtigt; CNP – Phosphor und Stickstoff berücksichtigt

Die Modellergebnisse zeigen in der Tat einen deutlichen Einfluss der Nährstoffverfügbarkeit.. Die akkumulierte Aufnahme von C durch die Landoberfläche ist im Zeitraum von 1860 bis 2100 um 13% (durch Hinzunahme des N-Kreislauf) und um 16% (durch Hinzunahme des P-Kreislauf) geringer als ohne die Berücksichtigung der Nährstoffzyklen von N und P. Werden beide Kreisläufe von N und P in JSBACH mitgerechnet, dann reduziert sich die Kohlenstoffspeicherung durch die Landoberfläche um 25%. Damit sind P und N gleichermaßen wichtig, die Effekte addieren sich nahezu. (Abb. 1). Dieser additive Effekt ist auf die auffallenden Unterschiede in dem geographischen Muster der P- und N-Limitierung zurück zu führen. Während N hauptsächlich in den hohen Breiten die Aufnahme reduziert, wirkt sich das Vorkommen von P hauptsächlich in den niederen Breiten aus (Abb.2).

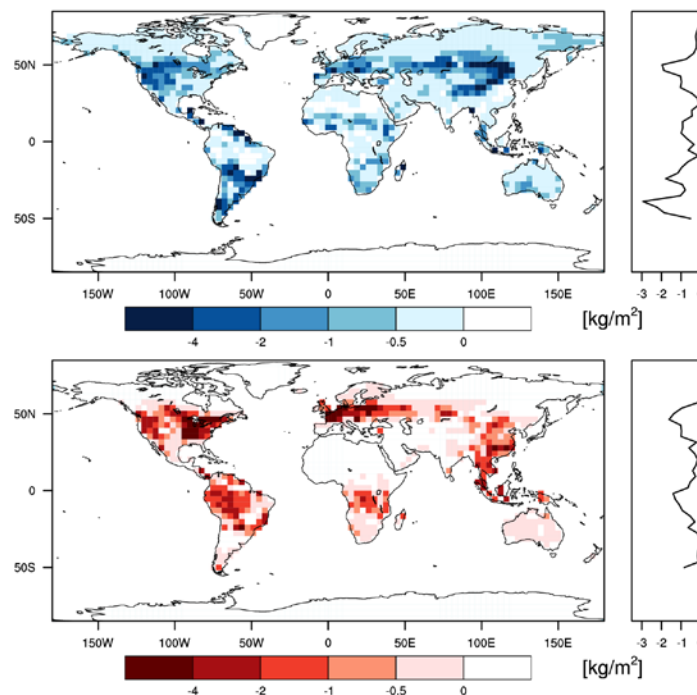


Abb.2

Abb.2: Die Reduktion der Aufnahme von C (in kg/m^2) durch die Nährstofflimitierung zum Ende des 21. Jahrhunderts. Gezeigt wird die Differenz der mittleren kumulativen C-Aufnahme (2070-2099) zwischen der CN- und der reinen C-Simulation (oben); unten Differenz zwischen CP-Simulation und C-Simulation. Rechts: Breitenmittel über Land.

Warum gibt es diese geographischen Unterschiede? Eine Erklärung liefert das Alter der Böden. Junge Böden enthalten typischerweise mehr P als N der sich erst nach und nach durch biologische Prozesse aus der Atmosphäre anreichert. P dagegen reichert sich durch Verwitterung von Ausgangsgestein im Boden an. Im Laufe der Zeit wird dieses Gestein immer ärmer an P und der Eintrag geringer, während mehr und mehr P in sekundäre Minerale eingeschlossen wird und dadurch nicht mehr zur Verfügung steht. Das bedeutet, dass alte, sehr verwitterte Böden eher arm an verfügbarem P sind. Da während der Eiszeiten die Böden in den hohen Breiten durch die Vergletscherung abgetragen wurden, sind die dortigen Böden bedeutend jünger als die in den niedrigen Breiten, wo es Hunderte Millionen Jahre lang keine Vergletscherung gegeben hat.

Es gibt noch andere Mechanismen auf kürzeren Zeitskalen von Jahren bis Jahrhunderten, die auch für die geringe Nährstoffverfügbarkeit verantwortlich sein können; hier spielen Faktoren wie Auswaschung und Verflüchtigung eine Rolle.

Nach 2100 zeigen die Simulationen bei weitersteigenden Temperaturen aber gleichbleibender CO₂-Konzentration (Abb.1 a, b), dass eher P als N in den hohen Breiten sich limitierend auf die Kohlenstoffaufnahme auswirkt. Das Ergebnis ist sehr überraschend, da bisher angenommen wurde, dass die P-Limitierung nur in den Tropen eine Rolle spielt. Es ist allgemein jedoch schwierig die Dynamiken des P-Kreislaufes zu quantifizieren, da es zu wenige Messungen gibt. Hierzu werden eindeutig mehr Messungen und Beobachtungen benötigt.

Fazit: Die globale Kohlenstoffaufnahme durch die Landoberfläche (Vegetation, Böden) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird in den gängigen Erdsystemmodellen, in denen kein Phosphor- oder Stickstoffkreislauf mitgerechnet wird, deutlich überschätzt und zukünftige CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre unterschätzt. Auf lange Sicht kann die unzureichende Verfügbarkeit von Phosphor eine wichtige Beschränkung für den Kohlenstoffkreislauf auch in den hohen Breiten darstellen. Der Phosphorkreislauf sollte also in die zukünftigen Modellrechnungen einbezogen werden, um realistischere Projektionen zu erhalten.

Originalveröffentlichung:

Goll, D. S., Brovkin, V., Parida, B. R., Reick, C. H., Kattge, J., Reich, P. B., van Bodegom, P. M., & Niinemets, Ü (2012).: Nutrient limitation reduces land carbon uptake in simulations with a model of combined carbon, nitrogen and phosphorus cycling, /Biogeosciences/, 9, 3547-3569. doi:10.5194/bg-9-3547-2012. [PDF](#)

Kontakt:

Dr. Daniel Goll
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Tel.: 040 - 41173 - 110
E-Mail: daniel.goll@zmaw.de