

Die Natur hilft uns nicht den CO₂-Anstieg zu bremsen

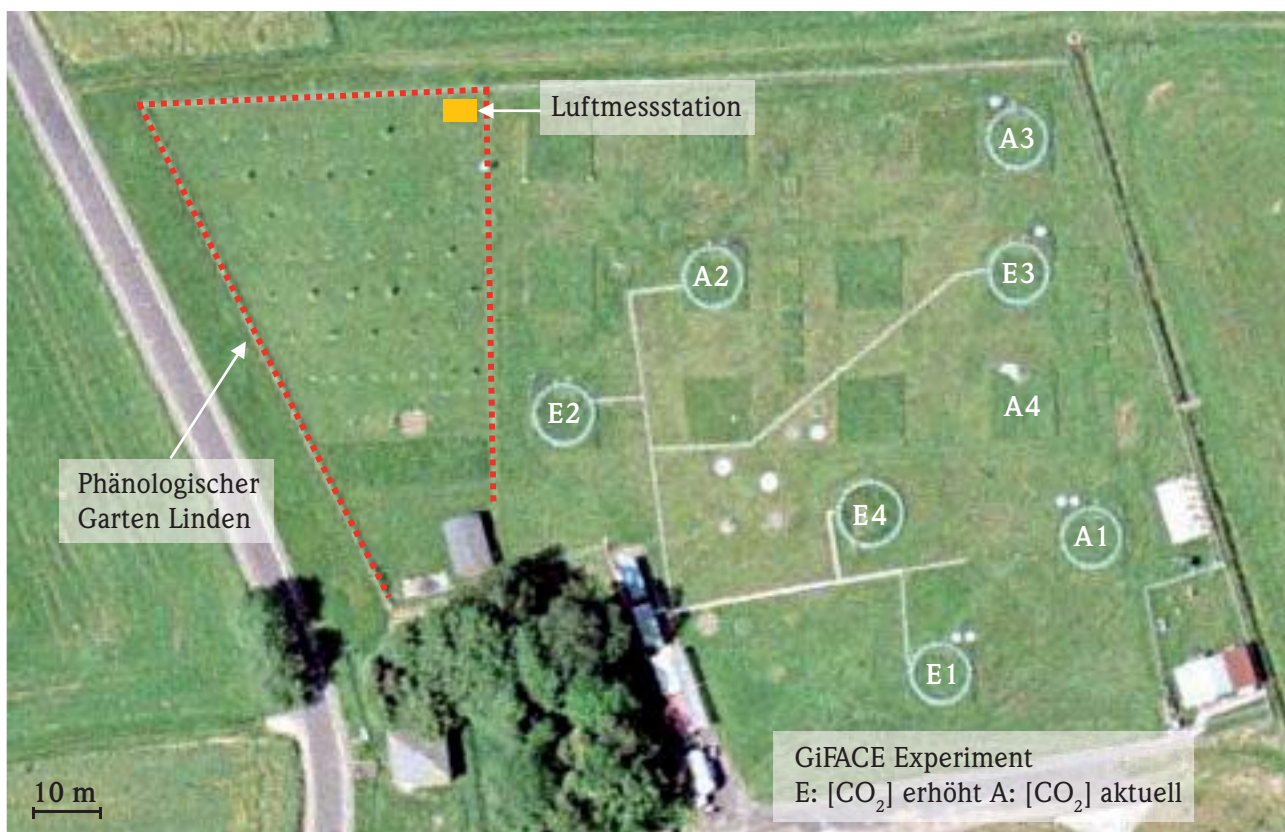
– 15 Jahre Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden –

I

AUTORENKOLLEKTIV (siehe S. 90)

Auf dem Gelände der 1993 eingerichteten Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden wird seit 1998 im Freiland ein CO₂-Anreicherungs-Experiment betrieben, um die Auswirkungen der steigenden atmosphärischen CO₂-Konzentrationen auf ein Grünland-Ökosystem zu untersuchen. Anfang 2003 kam ein phänologischer Garten zur Beobachtung der Auswirkungen steigender Tempera-

turen auf die jahreszeitliche Entwicklung der Vegetation hinzu. Die Ergebnisse sind alarmierend: Die Erwärmung ist bereits deutlich sichtbar, und wenigen positiven Effekten eines steigenden CO₂-Gehalts auf die Vegetation stehen zahlreiche negative Effekte gegenüber: Das untersuchte Grünland wurde zur Treibhausgas-Quelle, anstatt zusätzlichen Kohlenstoff im Boden zu speichern.



(Quelle: Dig. Orthophoto © Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation 2007)

Abb. 1: Luftbild der Forschungsstation.

1 Einleitung

Die gemeinsam vom Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen und dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) betriebene Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden (UKL) liegt in der Talau des Lückebaches südöstlich von Gießen. Auf dem Gelände betreibt das HLUG nicht nur eine seiner Luftmessstationen, dort werden auch, seit der Einrichtung der UKL vor 15 Jahren, Forschungsprojekte durchgeführt, die teilweise einmalig in Europa sind. Das Land Hessen kann deshalb für sich in Anspruch nehmen, schon sehr frühzeitig und vorausschauend das Thema Klimawandel und seine Folgen aufgegriffen zu haben. Ein wichtiges Beispiel hierfür ist die UKL in Linden.

Auf einer ca. 1,5 ha großen Teilfläche der UKL wird seit Mai 1998 ein Freiland-CO₂-Anreicherungsexperiment (GiFACE; Giessen Free-Air Carbon dioxide Enrichment experiment) zur Abschätzung der ökosystemaren Auswirkungen der um 2040 zu erwartenden CO₂-Konzentrationen durchgeführt (Abb. 1).

Anfang 2003 wurde darüber hinaus ein phänologischer Garten zur Klima- und Klimafolgenforschung etabliert. Im Dezember 2007 startete eine Pilotstudie zur Abschätzung der Auswirkungen der steigenden Temperaturen auf den Kohlenstoffhaushalt des Bodens.

→ Über die UKL wird auch im Artikel „Klima und Klimawandel – Arbeitsschwerpunkte der letzten 15 Jahre im HLUG –“ auf S. 91 berichtet.

2 Klimawandel in vollem Gange

Die atmosphärische Konzentration des Treibhausgases CO₂ ist heute mit 380 ppm (parts per million) bereits mehr als 35 % höher als in allen vorangegangenen, durch Eisbohrkern-Daten erfassbaren sieben Warmzeiten, d. h. in den letzten 650 000 Jahre [1]. Zum Vergleich: Der moderne Mensch existiert erst seit etwa 100 000 Jahren, das heißt, dass die Menschheit niemals zuvor in einer Umwelt mit über 280 ppm CO₂ in der Atmosphäre gelebt hat.

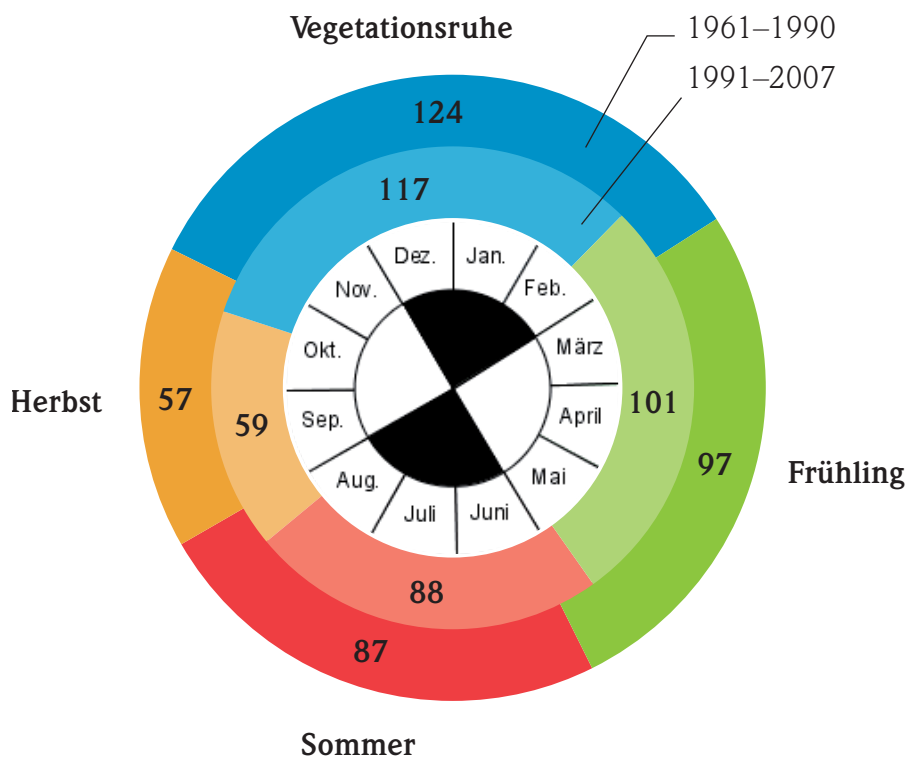
Auch wenn das Erd-Klimasystem träge reagiert: Die Auswirkungen werden bereits sichtbar. Im globalen Mittel waren die 1990er Jahre die wärmste Dekade seit Beginn der Temperaturlaufzeichnungen und im 12-Jahres-Zeitraum 1995–2006 lagen 11 der 12 wärmsten Jahre (Nr. 12: Das Jahr 1990) [1]. Die Vegetation reagiert bereits heute, insbesondere mit einem früheren Beginn des phänologischen Frühlings und einer Verkürzung der Vegetationsruhe (Abb. 2).

Weltweit tauen Gletscher und Inlandeis ab, mit ständig steigender Geschwindigkeit [[1], [2]]. Schon ab 2040 könnte das Nordpolarmeer im Spätsommer eisfrei sein, mit katastrophalen Folgen für die pola-

ren Ökosysteme wie wir sie heute (noch) kennen [3]. Daher ist in jüngster Zeit oft von einem sog. „Kipppunkt des Klimas“ die Rede (Bsp. [4, 5]). Gemeint sind Erwärmungsmechanismen, die sich gegenseitig bzw. sich selbst verstärken. Selbst eine Rückkehr zu heutigen atmosphärischen Werten würde dann den jetzigen Zustand nicht wieder herstellen können. Beispiele für solche Rückkopplungsmechanismen sind die höhere Wärmespeicherung dunkler, schneefreier Flächen gegenüber schneebedeckten Flächen, die das rasche Auftauen begünstigen (das sogenannte Eis-Albedo-Feedback [6]); das Auftauen von Permafrost-Böden und -Seen, die bei der folgenden Zersetzung von altem Bodenkohlenstoff die Treibhausgase CO₂ und Methan (CH₄) freisetzen [7]; oder auch die hohe CO₂-Fracht, die stoßweise durch Waldbrände während „ungewöhnlicher“ Hitzeperioden in die Atmosphäre gelangt [8]. Viele solcher Rückkopplungsmechanismen (positive Feedbacks) sind jedoch unzureichend verstanden, und daher in den jüngsten IPCC-Bericht noch nicht aufgenommen [1]. Bislang wurde z. B. kaum untersucht, wie sich die steigenden CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre (über die Pflanzen, die es in der Photosynthese nutzen) auf diejenigen mikrobiellen

Bodenprozesse auswirken, welche weitere Treibhausgase wie CH₄ und Lachgas (N₂O) in Böden erzeugen. Diese beiden Gase besitzen, über 100 Jahre

gerechnet, ein 25- bzw. 298-mal größeres Globales Erwärmungspotential (GWP) als das CO₂ selbst [1].



Blühbeginn Hasel



Blühbeginn
Schwarzer Holunder



Fruchtreife
Schwarzer Holunder



Auflaufen
Winterweizen

Fotos: DWD

Abb. 2: Vereinfachte doppelte phänologische Uhr für Hessen.

3 Das Gießener Freiland-CO₂-Anreicherungsexperiment

Zur Abschätzung der ökosystemaren Auswirkungen der steigenden CO₂-Konzentrationen wurde Mitte der 1990er Jahre ein neuartiges Freiland-Expositionssystem entwickelt (Abb. 3). Die in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und -richtung geregelte CO₂-Anreicherung erfolgt ganzjährig während der Tageslichtstunden, in denen die CO₂-Konzentration um +20 % angehoben wird (vgl. [9]). Dies ist der CO₂-Gehalt, der sich aufgrund der anthropogenen Emissionen in den Jahren 2030–2040 in der Erdatmosphäre einstellen wird.

Im Gegensatz zu Gewächshaus-/Topf-Experimenten wuchs der Pflanzenbestand unter erhöhtem CO₂-

Gehalt (einem Haupt-Pflanzennährstoff) keineswegs „in den Himmel“ [10]: Die Ertragssteigerung betrug über die bisher zehn Jahre des Experiments nur 7,2 % verglichen mit der Ausgangssituation (Mittel der fünf Jahre vor Experimentbeginn). Die Stickstoffkonzentration im Pflanzengewebe sank, eine normale Reaktion unter erhöhtem CO₂-Gehalt. Der Pflanzenbestand baute also mit der gleichen Menge N mehr Ertrag auf (= gesteigerte N-Nutzungseffizienz). Ein Grund für die sinkende N-Konzentration des Gesamtbestandes war die Zunahme des Anteils der Gräser auf Kosten der Kräuter [10, 11]. Sowohl die geringere N-Konzentration als auch der erhöhte Grasanteil senken theoretisch die Futtermittelqualität.



Abb. 3: Gießener Freiland-CO₂-Anreicherungssystem (Innen-Durchmesser 8 m).

3.1 Erhöhte Bestandesatmung und keine erhöhte C-Einbindung im Boden

Durch eine Ertragssteigerung wird kurzfristig mehr CO₂ in Biomasse gebunden; dauerhaft wird der Atmosphäre jedoch nur dann CO₂ entzogen, wenn

es wirklich im Ökosystem festgelegt wird, z. B. in stabilen Bodenaggregaten. Noch vor 20 Jahren, zu Beginn der Freiland-CO₂-Forschung, bestand die Hoffnung, dass ein Teil des atmosphärischen CO₂ auf diese Weise im Boden „verschwinden“ würde (negatives Feedback). Dies ist jedoch auch nach zehn Jahren unter erhöhtem CO₂ noch nicht der Fall

(Abb. 4, rechts); zudem war die nächtliche CO₂-Abgaberate (= Bestandesrespiration) des Grünlands signifikant gesteigert (Abb. 4, links).

Mit anderen Worten: Der fixierte Kohlenstoff ist ein „durchlaufender Posten“ und gelangt rasch wieder in die Atmosphäre zurück. Von diesem erhofften negativen Feedback (Festlegung des CO₂ als Bodenkohlenstoff) ist daher keine nennenswerte „Hilfe“ bei der Dämpfung des CO₂-Anstiegs in der Atmosphäre zu erwarten.

Mehr noch: Im Beobachtungszeitraum verlor das untersuchte Grünland-Ökosystem 10–15 % seines Bodenkohlenstoffs, sowohl auf den Kontrollflächen (Abb. 5, links), als auch unter erhöhtem CO₂. Nähere Untersuchungen ergaben, dass der Verlust durch mikrobiellen Abbau nach dem Zerbrecen von großen Bodenaggregaten (Strukturen, in denen der

Bodenkohlenstoff vor mikrobiellem Abbau gut geschützt ist) erfolgte. Dieser „alte“ Bodenkohlenstoff verlässt dann das Ökosystem als gasförmiges CO₂ (= Bestandesatmung), was vor dem Hintergrund der viel größeren natürlichen Bestandesatmung nicht auffallen muss. Dieser Verlust kann möglicherweise durch die Zunahme der Bodentemperatur erklärt werden (Abb. 5, rechts): Bodenkohlenstoff-Entwicklung und Temperaturverlauf sind gegenläufig. Die Abnahme im Bodenkohlenstoffgehalt erfolgte dabei mit einer Verzögerung von ca. zwei Jahren nach einem deutlichen Anstieg der Jahresmitteltemperaturen.¹

Fazit: Das erhöhte CO₂ bewirkte also weder eine erhöhte Kohlenstoff-Speicherung im Boden, noch schützte es vor dem Verlust von altem Bodenkohlenstoff, der möglicherweise durch steigende Temperaturen verursacht wird.

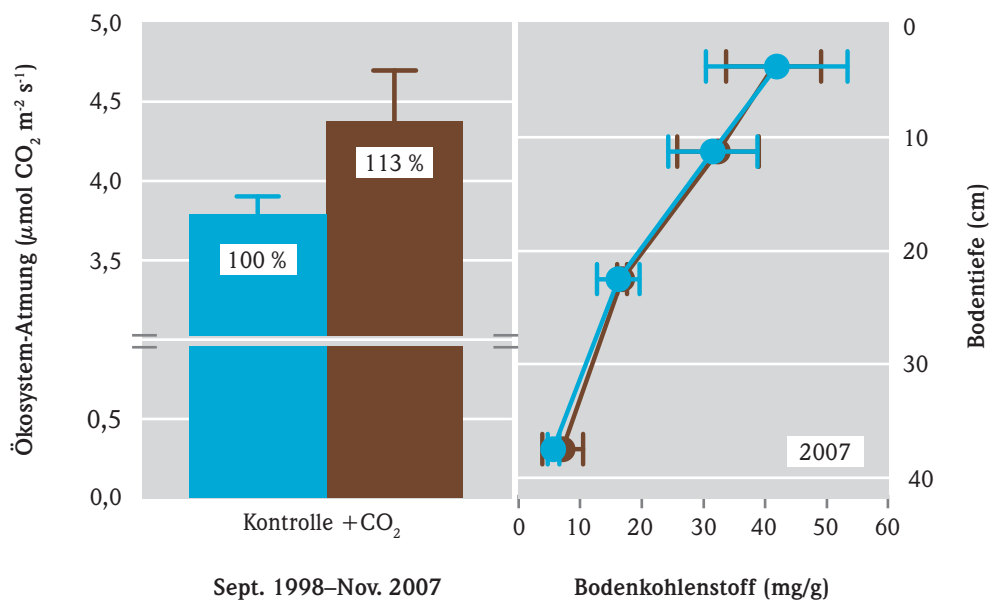


Abb. 4: Mittlere Ökosystem-Atmung des Grünlands über das gesamte Experiment (links); Boden-C-Gehalt in mg C pro g trockenem Boden nach 9,5 Jahren FACE (rechts).

¹ Ein ursächlicher Zusammenhang kann aus der Datenlage nur vermutet (= Arbeitshypothese), aber nicht bewiesen werden!

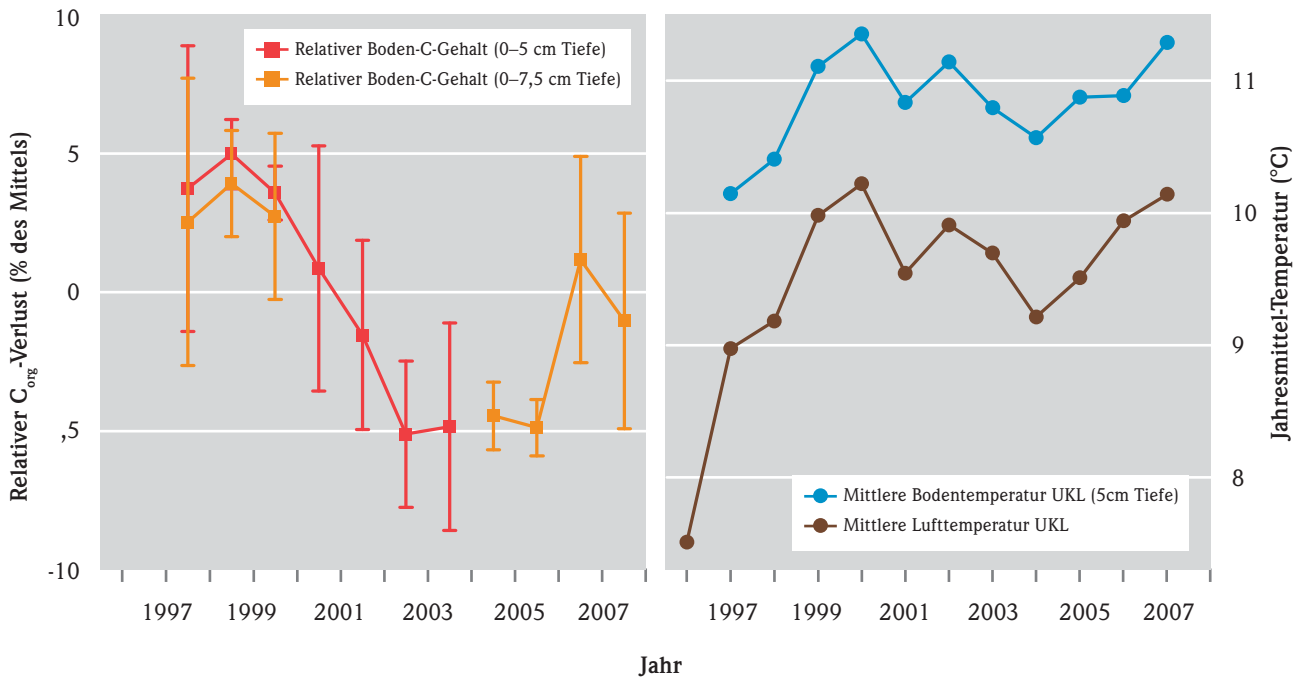


Abb. 5: Relativer Kohlenstoff-(C)-Verlust auf den Kontrollflächen A1–A3 des Gießener FACE-Experiments (links; Der C-Gehalt ist als prozentuale Abweichung vom Gesamtmittelwert 1997–2007 dargestellt; Fehlerbalken: Standardabweichung); Jahresmittel der Luft- und Bodentemperaturen auf der Versuchsfläche (rechts).

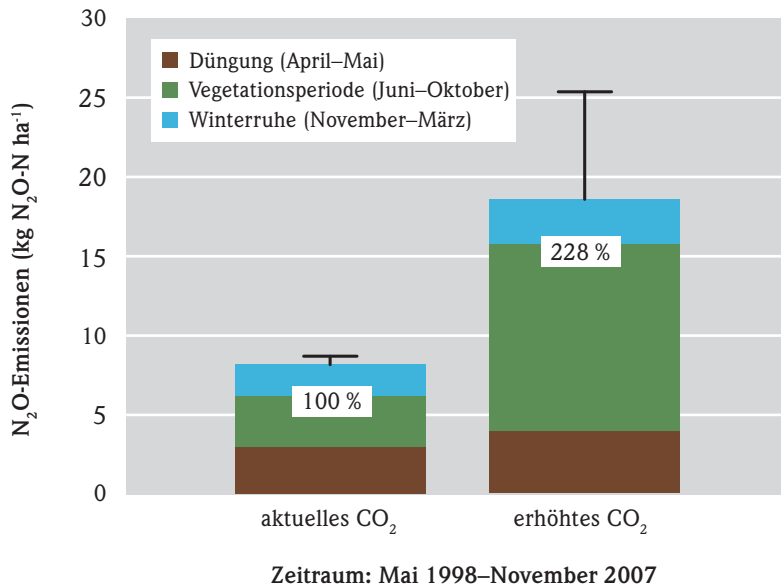


Abb. 6: Kumulierte N₂O-Emissionssummen über 9,5 Jahre.

3.2 Erhöhte Lachgas-Emissionen

N₂O (Lachgas) ist über 100 Jahre 298-mal stärker treibhauswirksam als CO₂; es entsteht weltweit in terrestrischen Böden durch mikrobiologische Prozesse (Nitrifikation und Denitrifikation), vor allem nach N-Düngung [1]. Entgegen den Erwartungen war eine starke Förderung der N₂O-Abgabe unter erhöhtem CO₂ zu verzeichnen (Abb. 6), die mit zunehmender Laufzeit des Experiments immer deutlicher (signifikanter) wurde [12]. Sie wäre nach den ersten 3–4 Jahren noch nicht nachweisbar gewesen – eines der Argumente für Langzeitstudien.

Die Stimulation der N₂O-Emissionen trat niemals nach der N-Düngung im April auf, sondern während der Vegetationsperiode bei sehr geringen Boden-N-Konzentrationen. Somit kann man ihr nicht durch verringerte Düngung oder ähnliche Maßnahmen begegnen [12]. Die unter erhöhtem CO₂ zusätzlich abgegebene N₂O-Menge entsprach im Mittel jährlich etwa einer halben Tonne CO₂ pro Hektar, die zum Ausgleich jedes Jahr dauerhaft im Boden gebunden werden müsste. Eine solche CO₂-Einbindung aber gab es nicht – im Gegenteil.

4 Schlussbetrachtungen

Seit Beginn der CO₂-Forschung bestand die Hoffnung, dass die Biosphäre selbst uns über den „CO₂-Düngeeffekt“ und über eine stärkere C-Einbindung in Böden „zu Hilfe“ kommen werde. Die Gießener Langzeitstudie zeigt jedoch, dass geringen positiven Effekten zahlreiche negative Effekte, d. h. positive Rückkopplungen gegenüber stehen: Steigende CO₂-Konzentrationen verschlechtern die Treibhausgas-Bilanz [12].

„Die Natur“ wird uns daher nicht helfen, den Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration zu bremsen!

Die Ergebnisse dieser zehnjährigen Forschungs-

3.3 Verminderte Methan-Konsumption

Methan (CH₄) wird aus organischer Substanz durch methanogene Bakterien (Archaea) unter anaeroben (sauerstofffreien) Bedingungen gebildet (z. B. in Reisfeldern, Wiederkäuer-Mägen, Sümpfen, Mülldeponien, Biogasanlagen). Weniger bekannt ist hingegen, dass alle gut durchlüfteten Böden weltweit CH₄-verzehrende (methanotrophe) Bakterien enthalten. Diese konsumieren atmosphärisches Methan und solches, das in tieferen (nassen) Bodenschichten gebildet wird, bevor es in die Atmosphäre gelangt – eine Art „Biofilter“-Prozess. Unter erhöhtem CO₂ verminderte sich langfristig die CH₄-Aufnahme in den Boden um ca. 15 %, vor allem während der Vegetationsperiode. Das CH₄-Produktionspotential des Grünlands dagegen stieg: Es kam zu vorübergehenden CH₄-Emissionen nach starken Sommerniederschlägen (z. B. 2002), die unter erhöhtem CO₂ deutlich stärker ausfielen. Dies ist eine weitere positive Rückkopplung steigender atmosphärischer CO₂-Konzentrationen auf die Prozesse, die die Konzentration anderer starker Treibhausgase in der Atmosphäre steuern.

arbeit zeigen, dass wir in noch stärkerem Maße als bisher gefordert sind, die Treibhausgas-Emissionen zu verringern, um den Klimawandel auf ein möglichst geringes Maß zu begrenzen.

Als technisch hochentwickeltes und klimatisch günstig gelegenes Land, das in den kommenden Dekaden wahrscheinlich weniger drastisch vom globalen Klimawandel betroffen sein wird als andere Länder, sollten wir die herauf ziehende Klimakrise als Chance begreifen, um mit allen verfügbaren Ressourcen die Weiterentwicklung CO₂-emissionsarmer oder -freier Techniken voranzutreiben.

Autoren

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden
E-mail: praesident@hlug.hessen.de

Dr. Thomas Schmid
Gerhard Dörger
Prof. Dr. Klaus Hanewald

Institut für Pflanzenökologie
Justus-Liebig-Universität Gießen
Heinrich-Buff-Ring 26–32
35392 Gießen
E-mail: Hans-Juergen.Jaeger@bot2.bio.uni-giessen.de

Prof. Dr. Hans-Jürgen Jäger
Priv.-Doz. Dr. Ludger Grünhage
Dr. Claudia Kammann
Dipl.-Biol. Katharina Lenhart
Dipl.-Biol. Anita Streiftfert

Literatur

- [1] IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds. S. Solomon, et al.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [2] RAHMSTORF, S. (2007): A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, **315**: p. 368–370.
- [3] SERREZE, M.C., M.M. HOLLAND, & J. STROEVE (2007): Perspectives on the Arctic's shrinking sea-ice cover, *Science* **315**: 1 533–1 536.
- [4] FOLEY, J.A. (2005): ATMOSPHERIC SCIENCE: Tipping points in the tundra. *Science* **310**: 627–628.
- [5] WALKER, G. (2006): Climate change: The tipping point of the iceberg. *Nature* **441**: 802–805.
- [6] HANSEN, J., M. SATO, P. KHARECHA, G. RUSSELL, D.W. LEA, & M. SIDDALL (2007): Climate change and trace gases, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **365**: 1 925–1 954.
- [7] WALTER, K.M., S.A. ZIMOV, J.P. CHANTON, D. VERBYLA, & F.S. CHAPIN (2006): Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming. *Nature* **443**: 71–75.
- [8] KÖRNER, C. (2003): Slow in, rapid out – carbon flux studies and Kyoto targets. *Science* **300**: 1 242–1 243.
- [9] JÄGER, H.J., S.W. SCHMIDT, C. KAMMANN, L. GRÜNHAGE, C. MÜLLER & K. HANEWALD (2003): The university of Giessen free-air carbon dioxide enrichment study: Description of the experimental site and of a new enrichment system. *Journal of Applied Botany* **77**: 117–127.
- [10] KAMMANN, C., L. GRÜNHAGE, U. GRÜTERS, S. JANZE & H.J. JÄGER (2005): Response of aboveground grassland biomass and soil moisture to moderate long-term CO₂ enrichment. *Basic and Applied Ecology* **6**: 351–365.
- [11] GRÜTERS, U., S. JANZE, C. KAMMANN & H.-J. JÄGER (2006): Plant functional types and elevated CO₂: A method of scanning for causes of community alteration. *Journal of Applied Botany and Food Quality* **80**: 116–128.
- [12] KAMMANN, C., C. MÜLLER, L. GRÜNHAGE & H.-J. JÄGER (2008): Elevated CO₂ stimulates N₂O emissions in permanent grassland. *Soil Biology and Biochemistry* **40**: 2 194–2 205.