

Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden

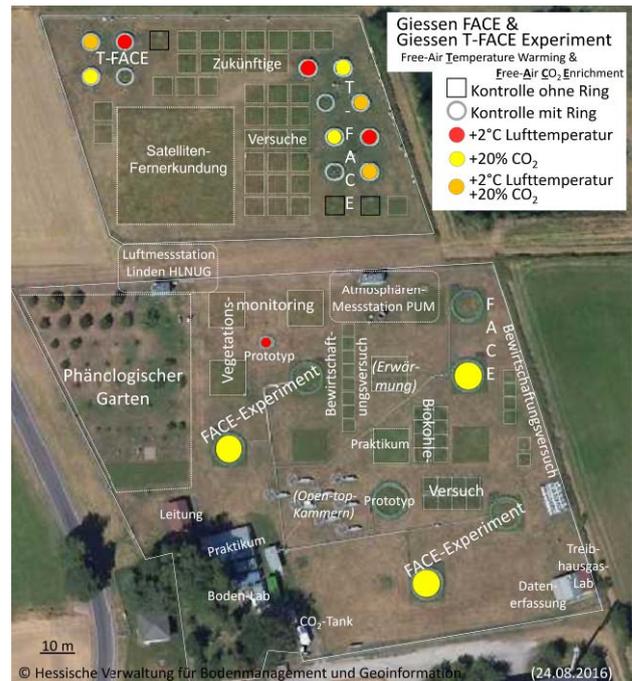
Einleitung

Die mittlere atmosphärische Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2) stieg vom Jahr 1750 bis 2017 von 280 ppm (parts per million = Teile pro Million) auf 406 ppm (+35 %). Die Auswirkungen davon werden bereits sichtbar: Gemeinsam mit der erhöhten Konzentration weiterer Treibhausgase führte das bis 2017 zur Erhöhung der globalen Mitteltemperatur um $1,2^\circ\text{C}$ gegenüber 1750.

Weltweit tauen Gletscher und Inlandeis mit steigender Geschwindigkeit ab. Daher ist in jüngster Zeit oft von sogenannten Kipppunkten des Klimas die Rede. Gemeint sind Erwärmungsmechanismen, die sich ab einem bestimmten Schwellenwert der Treibhausgaskonzentration selbst verstärken (*positives Feedback*) und sich nicht mehr stoppen oder rückgängig machen lassen. Beispiele sind die höhere Wärmespeicherung dunkler, schneefreier Flächen gegenüber schneebedeckten Flächen, die das rasche Auftauen begünstigen; das Auftauen von Permafrostböden, die bei der folgenden Zersetzung fossilen Kohlenstoffs (C) CO_2 und Methan (CH_4) freisetzen; oder die hohe CO_2 -Fracht, die besonders bei Waldbränden stoßweise in die Atmosphäre gelangt. Viele solcher Rückkopplungsmechanismen sind jedoch noch unzureichend bekannt, wie z.B. die Auswirkungen des steigenden CO_2 -Gehalts der Atmosphäre auf die biologischen Bodenprozesse, die Treibhausgase wie CH_4 und Lachgas (N_2O) freisetzen, welche über 100 Jahre gerechnet ein 34- bzw. 298-mal größeres globales Erwärmungspotential besitzen als das CO_2 .

Forschungsstation Linden

Die seit 1993 gemeinsam vom Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen und dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) betriebene Forschungsstation liegt in der Talau des Lückebaches im Naturraum "Marburg-Gießener-Lahntal" südöstlich von Gießen. Die mittleren Jahresniederschläge (1961–1990) in Gießen liegen bei 644 mm, das langjährige Mittel der Lufttemperatur beträgt $9,1^\circ\text{C}$. Die Vegetation ist ein wechselfeuchter, extensiv



Luftbildaufnahme der Forschungsstation

genutzter Glatthaferbestand, der gemäß der lokalen landwirtschaftlichen Praxis mit $40\text{ kg Stickstoff (N)}$ pro ha und Jahr gedüngt und zweimal jährlich gemäht wird. Auf der 172 m über NN gelegenen Forschungsstation wird seit Mai 1998 ein Freiland- CO_2 -Anreicherungsexperiment (GiFACE – Giessen Free-Air Carbon dioxide Enrichment) zur Abschätzung der ökosystemaren Auswirkungen der um 2040 zu erwartenden CO_2 -Konzentrationen durchgeführt. Ein [Vegetationsmonitoring](#) erfolgt hier seit 1993. Seit 1995 wird vom HLNUG eine [Luftmessstation](#) auf dem Gelände betrieben.

Anfang 2003 wurde ein phänologischer Garten zur Klima- und Klimafolgenforschung etabliert. Seit Mitte 2007 betreibt die Professur für Klimageographie und Umweltmodellierung der Philipps-Universität Marburg eine Atmosphären- und Fernerkundungsbodenstation (Laboratory for Climatology and Remote Sensing – [LCRS](#)).

Von Dezember 2007 bis Mai 2014 lief ein Erwärmungsexperiment zur Abschätzung der Auswirkungen der steigenden Bodentemperaturen auf den C- und N-Haushalt. Die Möglichkeit, CO_2 aus der At-

mosphäre langfristig im Boden zu speichern, wird seit 2011 in einem Biokohle-Freilandversuch getestet. Zeitweise wurden open-top-Kammern als „kleine Gewächshäuser“ für Ozon-Anreicherungs-experimente betrieben. Seit 2014 finden im neu eingerichteten Praktikumsraum vermehrt Lehrveranstaltungen im Rahmen des Biologie-Studiums (Bachelor, Master, Lehramt) statt.

Seit 2018 läuft auf einer Erweiterungsfläche ein weltweit einzigartiges Kombinationsexperiment, bei dem die CO₂-Anreicherung direkt mit der Erwärmung der Luft um 2 °C kombiniert wird (Giessen T-FACE – free-air Temperature warming and Free-Air Carbon dioxide Enrichment).

Phänologischer Garten: Klimawandel vor unserer Haustür

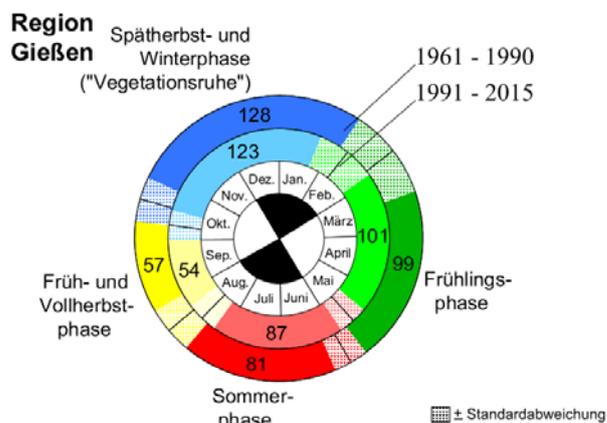
Die Phänologie befasst sich mit den verschiedenen im Jahresverlauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen bei Pflanzen und Tieren. Bei Pflanzen sind z.B. Blattentfaltung, Blüte, Fruchtreife, Laubverfärbung und Blattfall definierte Entwicklungsvorgänge, die als "phänologische Phasen" bezeichnet werden. Da in unseren Breiten die Pflanzenentwicklung maßgeblich durch den Temperaturverlauf bestimmt wird, sind phänologische Beobachtungen gute Indikatoren, um die Folgen der Klimaerwärmung für die Biosphäre zu dokumentieren. Im phänologischen Garten werden seit 2003 die phänologischen Phasen von 36 Pflanzenarten dokumentiert und an die Programme des Global Phenological Monitoring (GPM), des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und der Internationalen Phänologischen Gärten (IPG) weitergeleitet.



Phänologischer Garten mit HLNUG-Luftmesstation

Beginn und Dauer von 10 phänologisch definierten Jahreszeiten werden in "phänologischen Uhren" visualisiert. Die Definition dieser Jahreszeiten erfolgt über Zeigerpflanzen und Leitphasen, deren Eintritt den Beginn einer Jahreszeit kennzeichnet. Der Vergleich der Farbfelder des äußeren Rings (Klimareferenzperiode 1961–1990) mit dem inneren

Ring (1991–2015) der phänologischen Uhr zeigt deutlich die Veränderungen in der Vegetationsentwicklung im Raum Giessen: Die Jahreszeiten beginnen aktuell früher (innerer Ring entgegen dem Uhrzeigersinn verschoben). Der Frühling beginnt durchschnittlich 14 Tage eher, die Vegetationsruhe verkürzt sich im Schnitt um 5 Tage (Zahlenangaben in der Uhr).



Vereinfachte doppelte phänologische Uhr für den Raum Gießen

Im Vergleich zur Klimareferenzperiode ist die Spätfrosthäufigkeit im langjährigen Mittel trotz steigender Temperaturen nicht zurückgegangen, so dass die Gefahr von Ertragsausfällen im Obst-, Gemüse- und Weinbau in Hessen bestehen bleibt.

Freiland-CO₂-Anreicherungs-experiment GiFACE

Zur Abschätzung der ökosystemaren Auswirkungen der steigenden CO₂-Konzentrationen wurde 1998 ein Freiland-CO₂-Anreicherungssystem in Betrieb genommen. Es besteht aus je drei Ringen zur CO₂-Anreicherung und drei Kontrollringen. Die in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und -richtung geregelte CO₂-Anreicherung erfolgt ganzjährig während der Tageslichtstunden, in denen die CO₂-Konzentration um +20 % gegenüber der jeweils aktuell herrschenden CO₂-Konzentration auf ein Niveau angehoben wird, welches in der Umgebungsluft voraussichtlich 2035–2045 erreicht werden wird.



GiFACE – Giessener Freiland-CO₂-Anreicherungssystem, Innendurchmesser: 8 m (in Betrieb seit 1998)

Die Schwerpunkte der über 20-jährigen Untersuchungen liegen auf der Pflanzenartenzusammensetzung, der Biomasseproduktion (der Gräser, Kräuter, Leguminosen), der chemischen Zusammensetzung der Biomasse (insb. C, N) und der daraus resultierenden Futterqualität. Des Weiteren werden die Treibhausgasflüsse (CO_2 , CH_4 und N_2O) zwischen Ökosystem und Atmosphäre quantifiziert und bilanziert (vgl. [Infoblatt zur Treibhausgasbilanz](#)). Zusätzlich werden die Veränderungen der Bodenstruktur sowie des C-Gehalts und die Umwandlungsprozesse von N-Verbindungen im Boden untersucht. Mit Untersuchungen zur mikrobiellen Biomasse, Aktivität und Gemeinschaft wird die Änderung der Treibhausgasflüsse analysiert.

Seit Beginn der CO_2 -Forschung bestand die Hoffnung, dass die Pflanzen über den CO_2 -Düngungseffekt zu einer stärkeren C-Speicherung im Boden beitragen werden. Die GiFACE-Ergebnisse zeigen jedoch, dass dies nicht der Fall ist. Der CO_2 -Düngungseffekt führt nur in Jahren mit mittleren Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen zu höherem Pflanzenwachstum. Bei Extremwetterereignissen wie Hitze und Dürre, die nur mit Langzeitdatenreihen erfasst werden können, war kein CO_2 -Düngungseffekt zu beobachten. Eine zusätzliche Kohlenstoffspeicherung im Boden wurde nicht beobachtet. Bei den Treibhausgasflüssen nahm unter erhöhtem CO_2 die Ökosystematmung (CO_2 -Abgabe) leicht zu, es verringerte sich die CH_4 -Aufnahme und die N_2O -Abgabe erhöhte sich stark.

Grundsätzlich ist extensiv bewirtschaftetes Grünland aktuell mehr oder weniger klimaneutral. Steigende CO_2 -Konzentrationen verschlechtern aber die Treibhausgas-Bilanz des Grünlands, welches im GiFACE-Versuch unter erhöhtem CO_2 zu einer Treibhausgasquelle wurde.

Erwärmungsexperiment

Der Klimawandel wirkt auch durch die Temperaturerhöhung auf Ökosysteme. Um die Auswirkungen einer höheren Bodentemperatur auf die Kohlenstoff-



Erwärmungsexperiment mit Infrarotlampen (2007–2014)

speicherung und die Treibhausgasflüsse im Grünland zu untersuchen, wurden von 2007 bis 2014 Infrarot-Lampen in drei verschiedenen Höhen über dem Boden installiert. So wurde die Temperatur der Bodenoberflächen um 1–3 °C erhöht. Die Ergebnisse zeigen bei Erwärmung eine Abnahme des Bodenkohlenstoffgehalts durch erhöhte Bodenatmung und eine Verringerung der N_2O -Emissionen.

Diese Ergebnisse sollten allerdings mit Vorsicht betrachtet werden, da sich beim stattfindenden Klimawandel nicht die Infrarot-Strahlung erhöht (welche vorwiegend zur Erwärmung von Oberflächen führt), sondern die Lufttemperatur steigt. Eine erhöhte Lufttemperatur verursacht aber andere physiologische Reaktionen bei Pflanzen und Bodenmikroorganismen als eine erhöhte Blatt- und Bodenoberflächentemperatur. Deshalb wurde die T-FACE Technik entwickelt, die im Folgenden erläutert wird.

Kombinationsexperiment

Giessen T-FACE

2018 wurde auf einer seit 2012 untersuchten Erweiterungsfläche das Kombinationsexperiment im Grünland in Betrieb genommen, bei dem die Lufttemperatur um 2 °C erwärmt und gleichzeitig die atmosphärische CO_2 -Konzentration um 20 % angereichert wird (Giessen T-FACE = free air Temperature warming and Free Air CO_2 Enrichment). Die Ringkonstruktionen der neu entwickelten Anlage können in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit und -richtung die vorbeistreichende Luft mit Heizmatten erwärmen und mit CO_2 anreichern. In der inneren Untersuchungsfläche werden dieselben Untersuchungen wie im GiFACE durchgeführt. Auf die Kombination der Lufterwärmung mit der CO_2 -Anreicherung werden die Pflanzen voraussichtlich mit einer Änderung der Fotosyntheserate und des Wasserhaushalts reagieren. Eine wichtige Forschungsfrage ist dabei, wie groß der CO_2 -Düngungseffekt auf das Pflanzenwachstum bei 2 °C



Giessen T-FACE mit +2 °C Lufttemperatur und +20 % CO_2 , Innendurchmesser: 4,3 m (Start 2018). Pfeile = Luftströmung bei Wind, blau = Umgebungstemperatur, rot = +2 °C

höherer Lufttemperatur sein wird und wie sich die Wurzeldynamik verändert. Außerdem liegt ein Schwerpunkt auf der Treibhausgas-Bilanz, um u.a. zu klären, ob sich wie im GiFACE die N₂O-Emissionen erhöhen oder wie beim Lampen-Erwärmungsexperiment vermindern werden. Als Langzeitexperiment sollen im Rahmen des T-FACE-Experiments auch die Ökosystemreaktionen unter unterschiedlichen Witterungsbedingungen (inkl. Extremwetterereignissen) untersucht werden.

Biokohle-Versuch

Um die drohenden negativen Auswirkungen der Klimaerwärmung abzuschwächen, wird überlegt, aus Pflanzenbiomasse Biokohle herzustellen und diese in den Boden einzubringen. Die Hoffnung ist dabei, dass das von den Pflanzen gebundene CO₂ in der Biokohle als stabile C-Form langfristig im Boden gespeichert (*C-Sequestrierung*) werden kann und dabei die Wasser- und Nährstoffhaltekapazität des Bodens verbessert sowie die Nitratauswaschung reduziert werden kann.



April 2011



Mai 2011

Biokohle-Freilandversuch nach der Ausbringung 2011

Um diese Möglichkeit zu untersuchen, wurde der Biokohle-Feldversuch 2011 im Dauergrünland angelegt. In vierfacher Wiederholung wurden auf verschiedenen Untersuchungsflächen zwei verschiedene Pflanzenkohlen (Pyrolysekohle = Biochar; hydrothermal karbonisierte Kohle = HTC) und das zur Kohleherstellung verwendete Stroh von Chinagras (*Miscanthus × giganteus*) mit Gülle gemischt und oberflächlich ausgebracht. Der Versuch soll somit das Potential der landwirtschaftlichen Biokohle-

anwendung als Vermeidungsstrategie (*Mitigation*) gegen den Klimawandel ermitteln. Das Experiment ermöglicht auch eine Abschätzung, inwieweit Kohleeinbringung im Freiland sich auf Ertrag, Futterqualität und den Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt auswirkt.

Vorbild für die Biokohle-Anwendung sind anthropogene Terra Preta-Böden im Amazonas-Gebiet. Sie entstanden vor vielen Jahrhunderten, indem indigene Kulturen die Rückstände der Kochfeuer und Küchenabfälle über lange Zeiträume auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ausbrachten. Dabei wurde Kohlenstoff in den Boden eingebracht, wodurch die Nährstoffhaltekapazität der nährstoffarmen tropischen Böden signifikant verbessert wurde. Dadurch wurde eine langfristige Bewirtschaftung ermöglicht. Die Nährstoffdynamik und mikrobielle Aktivität in Amazonischen Terra Preta-Böden wurde für ein besseres Verständnis der positiven Effekte der Biokohle ebenfalls untersucht.

Das Ausgangsmaterial und die verschiedenen Kohlen für den Gießener Freilandversuch wurden vor dem Ausbringen im Freiland auch in Topfversuchen im Gewächshaus (Labor) getestet. Die bisherigen Ergebnisse zeigen sowohl im Gewächshaus als auch im Freiland, dass nur Biochar eindeutig positive Effekte auslöst.

Aufgaben der nächsten Jahre

- Durchführung von Langzeitmessreihen in den beiden FACE-Versuchen (Ertragsleistung, Bodenkohlenstoff, C- und N-Flüsse, Treibhausgas-Bilanzen)
- Untersuchungen zum Prozessverständnis und Aufklärung der Mechanismen der geänderten Treibhausgas-Bilanz
- Erstellung von Modellen zur Abschätzung der zukünftig zu erwartenden Veränderungen auf ökosystemarer Ebene
- Entwicklung weiterer Experimente in der Klimafolgenforschung (z.B. Austrocknungs- bzw. Niederschlagsmanipulations-Experimente)

Impressum

Bearbeitung: Dr. G. Moser, Dr. S. Schmidt, Prof. Dr. L. Grünhage, Prof. Chr. Müller PhD (Justus-Liebig-Universität Gießen)
Prof. Dr. C. Kammann (Hochschule Geisenheim University)
Prof. Dr. Th. Schmid, Dr. M. Hemfler, Dr. C. Fooker (HLNUG)

Stand: Juni 2018

Herausgeber:
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Postfach 3209, 65022 Wiesbaden
Telefon: 0611/6939-0
Telefax: 0611/6939-555