

# Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden

Die gemeinsam vom Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen und dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie betriebene Forschungsstation liegt in der Talaue des Lückebaches im Naturraum 348 "Marburg-Gießener-Lahntal" - Untereinheit 348.11 "Großen-Lindener Hügelland" südöstlich von Gießen.

Der Pflanzenbestand ist ein regional-typischer wechselfeuchter, extensiv genutzter Glatthaferbestand, der der lokalen landwirtschaftlichen Praxis gemäß mit  $40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  gedüngt wird und unter Zwei-Schnitt-Nutzung steht.

Die in einer Höhe von 172 m über NN in Mittelhessen gelegene und ca. 4,5 ha große Fläche der Forschungsstation gliedert sich in zwei Teilflächen: Ca. 3 ha werden für mikrometeorologische Messungen insbesondere zur Bestimmung des Senken- bzw. Quellenpotentials des Dauergrünlandes für Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) genutzt.

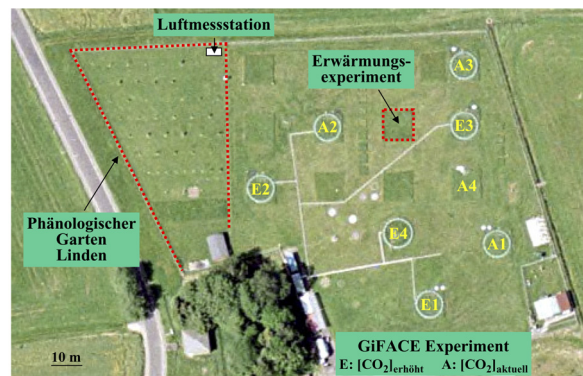


Messsystem zur Bestimmung des  $\text{CO}_2$ -Austausches zwischen dem Lindener Dauergrünland und der bodennahen Atmosphäre

Auf einer ca. 1,5 ha großen Teilfläche wird seit Mai 1998 ein Freiland- $\text{CO}_2$ -Anreicherungs-experiment (GiFACE; Giessen Free-Air Carbon dioxide Enrichment experiment) zur Abschätzung der ökosystemaren Auswirkungen der um 2040 zu erwartenden  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen durchgeführt.

Anfang 2003 wurde ein Phänologischer Garten zur Klima- und Klimafolgenforschung etabliert. Im

Dezember 2007 startete ein Erwärmungsexperiment zur Abschätzung der Auswirkungen der steigenden Temperaturen auf den Kohlenstoffhaushalt des Bodens.



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

Luftbildaufnahme der Forschungsstation

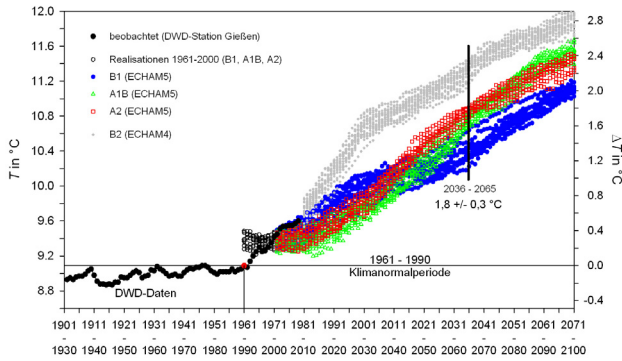
Seit 1995 wird vom Landesamt für Umwelt und Geologie eine Luftmessstation auf dem Gelände betrieben.



Phänologischer Garten mit Luftmessstation

## Klimawandel voll im Gange

Die atmosphärische Konzentration des Treibhausgases  $\text{CO}_2$  ist heute mehr als 35 % höher als in allen vorangegangenen, durch Eisbohrkern-Daten erfassbaren Warmzeiten, sehr wahrscheinlich sogar höher als während der letzten 20 Millionen Jahre. Die Auswirkungen werden bereits sichtbar: Die Dekade 2000 bis 2009 war in Deutschland die wärmste seit mindestens 130 Jahren.



Gemessene und prognostizierte gleitende 30jährige Mittel der Lufttemperatur für Gießen

Weltweit (Antarktis, Tropen, Alpen, Grönland) tauen Gletscher und Inlandeis mit steigender Geschwindigkeit ab. Daher ist in jüngster Zeit oft von einem sog. Kipppunkt des Klimas die Rede. Gemeint sind Erwärmungsmechanismen, die sich selbst verstärken. 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 Bodenkohlenstoffs  $\text{CO}_2$  und Methan ( $\text{CH}_4$ ) freisetzen; oder die hohe  $\text{CO}_2$ -Fracht, die stoßweise durch Waldbrände während (ungewöhnlicher) Hitzeperioden in die Atmosphäre gelangt. Viele solcher Rückkopplungsmechanismen (*positive Feedbacks*) sind jedoch noch unzureichend bekannt, wie z.B. die Auswirkungen des steigenden  $\text{CO}_2$ -Gehalts der Atmosphäre auf die biologischen Bodenprozesse, die weitere Treibhausgase wie  $\text{CH}_4$  und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) erzeugen. Diese Gase besitzen, über 100 Jahre gerechnet, ein 25- bzw. 298-mal größeres Globales Erwärmungspotential (GWP) als das  $\text{CO}_2$  selbst. Dennoch ist diese Fragestellung bislang nur unzureichend untersucht worden.

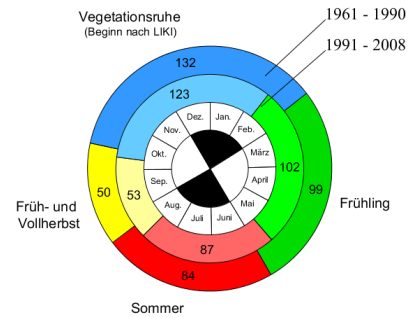
## Pflanzenphänologie: Klimawandel vor unserer Haustür

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 Klimaänderungen der Biosphäre zu dokumentieren. Beginn und Dauer von 10 phänologisch definierten Jahreszeiten werden in "phänolo-

gischen Uhren" visualisiert. Die Definition dieser Jahreszeiten erfolgt über Zeigerpflanzen und Leitphasen, deren Eintritt den Beginn einer Jahreszeit kennzeichnet.

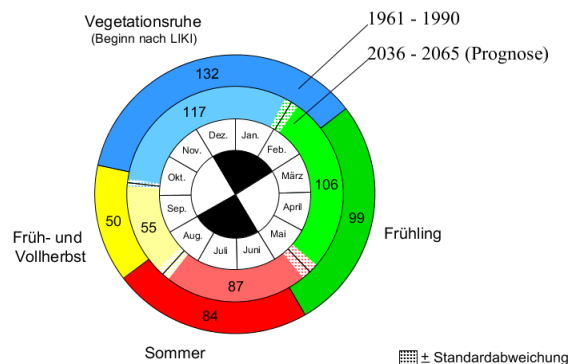
### Phänologischer Frühling und Sommer beginnen immer früher ...

Durch den Vergleich der Farbfelder des äußeren Rings (Klimareferenzperiode 1961-1990) mit dem inneren Ring (1991-2008) der phänologischen Uhr



Vereinfachte doppelte phänologische Uhr für den Naturraum 348 "Marburg-Gießener-Lahntal"

werden die Veränderungen in der Vegetationsentwicklung im Naturraum 348 "Marburger-Gießener-Lahntal" deutlich: Die Jahreszeiten beginnen eher (innerer Ring entgegen dem Uhrzeigersinn verschoben), vor allem der Frühling beginnt 14 Tage früher. Die Vegetationsruhe hat sich um 9 Tage verkürzt (Zahlenangaben in der Uhr). Die aktuell zu beobachtenden Veränderungen in der Pflanzenentwicklung werden sich in der Zukunft fortsetzen: Der phänologische Frühling wird Mitte dieses Jahrhunderts bereits Ende Januar beginnen.



Phänologische Uhr mit beobachteten und modellierten Eintrittsterminen für den Naturraum "Marburg-Gießener-Lahntal"

### ... und: Steigende Spätfrostgefährdung trotz Erwärmung

Für den Obst-, Gemüse- und Weinbau ist vor allem der Spätfrost von besonderer Bedeutung, da bereits einzelne Frostnächte während der Obstblüte zu völligen Ertragsausfällen führen können. Im Vergleich zur Klimareferenzperiode ist in Mittelhessen

im langjährigen Mittel eine Erhöhung der Spätfrostgefährdung für Apfel, Birne und Sauerkirsche infolge des früheren Blühbeginns der Kulturen trotz steigender Temperaturen zu erwarten.

## Das Gießener Freiland-CO<sub>2</sub>-Anreicherungsexperiment

Zur Abschätzung der ökosystemaren Auswirkungen der steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wurde Mitte der 1990er Jahre ein neuartiges Freiland-Expositionssystem entwickelt. Drei Ringe zur CO<sub>2</sub>-Anreicherung und drei Kontrollringe wurden im Sommer/Herbst 1997 auf langjährig voruntersuchten Teilflächen des Lindener Grünlandes aufgebaut und gingen nach Testläufen Anfang Mai 1998 in Betrieb. Die in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und -richtung geregelte CO<sub>2</sub>-Anreicherung erfolgt ganzjährig während der Tageslichtstunden, in denen die CO<sub>2</sub>-Konzentration um +20 % angehoben wird (Prognosen für 2030-2040).



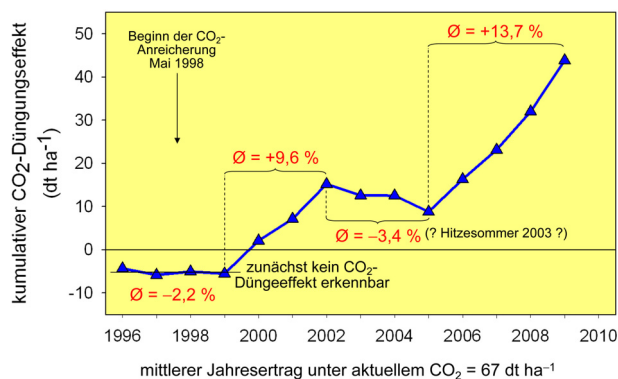
Gießener Freiland-CO<sub>2</sub>-Anreicherungssystem (Innen-ø: 8 m)

### Leichte Ertragssteigerung bei verbesserter N-Dünger-Nutzung ...

... aber:

### Verschiebungen in der Artenzusammensetzung

Im Gegensatz zu Gewächshaus-/Topf-Experimenten wuchs der Pflanzenbestand unter erhöhtem CO<sub>2</sub> (einem Haupt-Pflanzennährstoff) keineswegs "in den Himmel": Die Ertragssteigerung betrug über die 12 Jahre des Experiments 9,2 % verglichen mit der Ausgangslage. Die Stickstoff-(N-)Konzentration im Pflanzengewebe sank (eine normale Reaktion unter erhöhtem CO<sub>2</sub>), d.h. der Pflanzenbestand baute 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. Sowohl die geringere N-Konzentration als auch der erhöhte Grasanteil senken theoretisch die Futtermittelqualität.



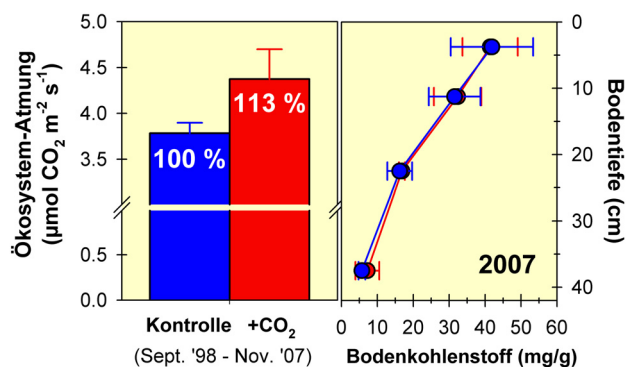
Einfluss des kumulierten CO<sub>2</sub>-Düngereffekts auf die Ertragsleistung (in dt/ha)

Überraschend war die "verzögerte" Ertragssteigerung erst im 3. Jahr des Versuchs, und der starke Einbruch der Steigerung in trockenen Jahren: Beides entsprach nicht den aus der publizierten Forschungsliteratur zuvor abgeleiteten Hypothesen und belegt die Bedeutung von Langzeitstudien.

... aber:

### Erhöhte Bestandesatmung und keine erhöhte C-Einbindung im Boden

Durch eine Ertragssteigerung wird kurzfristig mehr CO<sub>2</sub> in Biomasse gebunden; dauerhaft wird der Atmosphäre jedoch nur dann CO<sub>2</sub> entzogen, wenn es wirklich im Ökosystem festgelegt wird, z.B. in stabilen Bodenaggregaten. Dies ist jedoch auch nach 10 Jahren unter erhöhtem CO<sub>2</sub> noch nicht der Fall (rechtes Bild); die nächtliche CO<sub>2</sub>-Abgaberate (= Bestandesrespiration) des Grünlands war aber signifikant gesteigert (linkes Bild).



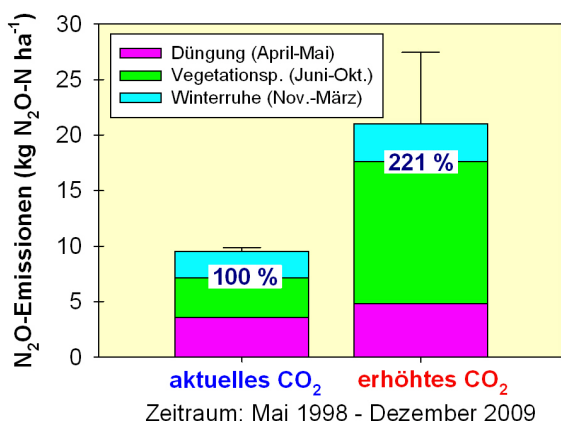
Mittlere Ökosystem-Atmung des Grünlands über das gesamte Experiment (links); Boden-C-Gehalt nach 9,5 Jahren (rechts)

Mit anderen Worten: Der fixierte Kohlenstoff ist ein "durchlaufender Posten" und gelangt rasch wieder in die Atmosphäre zurück. Von einem solchen *negativen Feedback* (Festlegung des CO<sub>2</sub> als Bodenkohlenstoff) ist daher wohl keine nennenswerte "Hilfe" bei der Dämpfung des CO<sub>2</sub>-Anstiegs in der Atmosphäre zu erwarten.

... aber:

### Erhöhte Lachgas-Emissionen

$N_2O$  (Lachgas) ist über 100 Jahre 298-mal stärker treibhauswirksam als  $CO_2$ ; es entsteht weltweit in terrestrischen Böden durch mikrobiologische Prozesse (Nitrifikation und Denitrifikation), vor allem nach N-Düngung. Entgegen den Erwartungen war eine starke Förderung der  $N_2O$ -Abgabe unter erhöhtem  $CO_2$  zu verzeichnen, die mit zunehmender Laufzeit des Experiments immer deutlicher (signifikanter) wurde. Sie wäre nach den ersten 3–4 Jahren noch nicht nachweisbar gewesen – ein weiteres Argument für Langzeitstudien.



Kumulierte  $N_2O$ -Emissionssummen über 11,6 Jahre

Die Stimulation der  $N_2O$ -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 o.ä. Maßnahmen begegnen. Die unter erhöhtem  $CO_2$  zusätzlich abgegebene  $N_2O$ -Menge entsprach im Mittel jährlich mehr als einer halben Tonne  $CO_2$  pro ha, die zum Ausgleich jedes Jahr dauerhaft im Boden gebunden werden müsste. Eine solche  $CO_2$ -Einbindung aber gab es nicht (s.o.).

... aber:

### Verminderte Methan-Konsumption

Methan ( $CH_4$ ) 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  $CH_4$ -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  $CO_2$  verminderte sich langfristig die  $CH_4$ -Aufnahme in den Boden um ca. 15 %, vor allem

während der Vegetationsperiode. Das  $CH_4$ -Produktionspotential des Grünlands dagegen stieg: Es kam zu vorübergehenden  $CH_4$ -Emissionen nach starken Sommerniederschlägen (z.B. 2002), die unter erhöhtem  $CO_2$  deutlich stärker ausfielen. Dies ist, wie im Falle des  $N_2O$ , eine positive Rückkopplung steigender atmosphärischer  $CO_2$ -Konzentrationen auf die Prozesse, die die Konzentration anderer Treibhausgase in der Atmosphäre bestimmen.

Fazit:

### Steigende $CO_2$ -Konzentrationen verschlechtern die Treibhausgas-Bilanz des Grünlands

Seit Beginn der  $CO_2$ -Forschung bestand die Hoffnung, dass die Biosphäre selbst uns über den "CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt" und über eine stärkere C-Einbindung in Böden "zu Hilfe" kommen werde. Die Gießener Langzeitstudie zeigt jedoch, dass geringen positiven Effekten zahlreiche negative Auswirkungen gegenüber stehen. *"Die Natur" wird uns daher nicht helfen, den Anstieg der atmosphärischen  $CO_2$ -Konzentration zu bremsen!*

## Aufgaben der nächsten Jahre

- Durchführung von Langzeitmonitoring (Ertragsleistung, Bodenkohlenstoff, C- und N-Flüsse, Bilanzen)
- Untersuchung des Einflusses steigender Temperaturen auf den C- und N-Haushalt
- Untersuchung der Wechselwirkungen steigender  $CO_2$ -Konzentrationen, steigender Temperaturen, steigender Hintergrundbelastung mit Ozon, steigender N-Einträge
- Untersuchungen zum Prozessverständnis und Aufklärung der Mechanismen
- Erstellung von Modellen zur Abschätzung der zukünftig zu erwartenden Veränderungen auf ökosystemarer Ebene

#### Impressum

Bearbeiter: Prof. Dr. L. Grünhage, Prof. Ch. Müller, PhD  
Dr. C. Kammann, Dr. K. Lenhart,  
Dr. S.W. Schmidt (Uni Gießen)  
G. Dörger, Prof. Dr. K. Hanewald,  
Dr. Th. Schmid, Dr. H. Wolf (HLUG)

Stand: Februar 2010

Herausgeber:  
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Postfach 3209, 65022 Wiesbaden  
Telefon: 0611/6939-0  
Telefax: 0611/6939-555  
Vertrieb: Telefon: 0611/6939-111  
Telefax: 0611/6939-113  
E-Mail: [vertrieb@hlug.de](mailto:vertrieb@hlug.de)