

## **Grünland unter dem Einfluss erhöhter CO<sub>2</sub> Konzentration – Ergebnisse aus den langjährigen Gießener FACE- Experimenten**

R. Seibert

Institut für Pflanzenökologie, Justus-Liebig-Universität Giessen, Heinrich-Buff-Ring 26,  
35392 Giessen; [Ruben.Seibert@bot2.bio.uni-giessen.de](mailto:Ruben.Seibert@bot2.bio.uni-giessen.de)

### **Einleitung**

Steigende Emissionen von Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) führen zu Klimaveränderungen und Extremwetterereignissen. Steigende CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre, höhere Lufttemperaturen und variierende Niederschlagsereignisse verändern die Wachstumsbedingungen für Pflanzen und beeinflussen dadurch deren Ertragsbildung, Futterqualität und Nahrungssicherheit (Andresen et al., 2018; Augustine et al., 2018). Auch wird angenommen, dass im Grünlandökosystem unter erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Kohlenstoffkreislauf und der daran gekoppelte Stickstoffkreislauf beeinflusst werden und sich damit auch die Treibhausgasflüsse und -bilanz verändern.

Zur Untersuchung von sich verändernden klimatischen Bedingungen, vor allem in landwirtschaftlichen Systemen, werden CO<sub>2</sub>-Anreicherungsanlagen verwendet. Mit Hilfe dieser sogenannten FACE-Systemen (Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment), lassen sich unter realistischen Freilandbedingungen der Einfluss von erhöhtem CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre auf Pflanzen untersuchen (Hendrey & Kimball, 1994).

Das Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Giessen, untersucht seit über 20 Jahren mit Hilfe eines FACE-Systems die Auswirkungen von erhöhtem atmosphärischen CO<sub>2</sub> auf extensiv bewirtschaftetes Grünland. Damit gehört dieser FACE-Freilandversuch zu einem der am längsten laufenden Versuche weltweit.

### **Material und Methoden**

Das sogenannte Giessen FACE (GiFACE) startete im Mai 1998 mit 6 randomisierten FACE-Ring-Systemen in einem artenreichen, extensiv bewirtschafteten Grünland. Drei Ringe werden dabei mit 20 % mehr CO<sub>2</sub> als in der aktuellen Atmosphäre angereichert und drei Ringe dienen als Kontrolle ohne zusätzliche CO<sub>2</sub>-Anreicherung. Die CO<sub>2</sub>-Anreicherung erfolgt ganzjährig während der Tageslichtstunden und wird in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit und Windrichtung geregelt. Jeder Ring hat einen Durchmesser von 8 m und eine innere Monitoringfläche von 9 m<sup>2</sup>. Bei dem untersuchten Grünland handelt es sich um ein wechselfeuchter Glatthaferbestand, welcher einmal im Jahr mit 40 kg N ha<sup>-1</sup> + 600 kg ha<sup>-1</sup> Thomaskali (P, K, Mg, Ca) gedüngt wird (Jäger et al., 2003). Jeweils zweimal im Jahr (Mitte/Ende Mai und Ende August/Anfang September) werden die Flächen geerntet. Das Mahdgut wird danach in die drei funktionellen Hauptgruppen

Gräser, Kräuter und Leguminosen aufgetrennt, getrocknet und für weitere Untersuchungen (z.B. Ertragsbildung, C/N-Analyse, Futterqualitätsanalyse) aufbereitet.

Des Weiteren werden die Treibhausgasflüsse des Grünlandökosystems untersucht. Dazu wird gemessen, wieviel CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> aus dem Ökosystem in die Atmosphäre strömt bzw. vom Ökosystem aus der Atmosphäre aufgenommen wird.

## Ergebnisse und Diskussion

Seit Beginn der CO<sub>2</sub>-Behandlung im Jahr 1998 war der Ertrag der oberirdischen Biomasse höher unter erhöhtem CO<sub>2</sub> (eCO<sub>2</sub>), mit Ausnahme der Jahre 1999 und 2003 – 2005 (Abb. 1). Der CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt auf die oberirdische Biomasseproduktion ist unter ausgewogener Temperatur und Bodenfeuchte am höchsten und erreicht eine Ertragszunahme von +16 % für den Zeitraum 2007 – 2014 (Andresen et al., 2018). Unter sehr trockenen und heißen, aber auch sehr feuchten Vegetationsbedingungen, wird der unter eCO<sub>2</sub> steigende Pflanzenwachstum verringert (Obermeier et al., 2017; Yuan et al., 2018). In den meisten Jahren des Untersuchungszeitraums, war die gestiegene Wassernutzungseffizienz der Pflanzen unter eCO<sub>2</sub> verantwortlich für einen leichten Anstieg der Bodenfeuchte und eine Verringerung der Bodentemperatur.

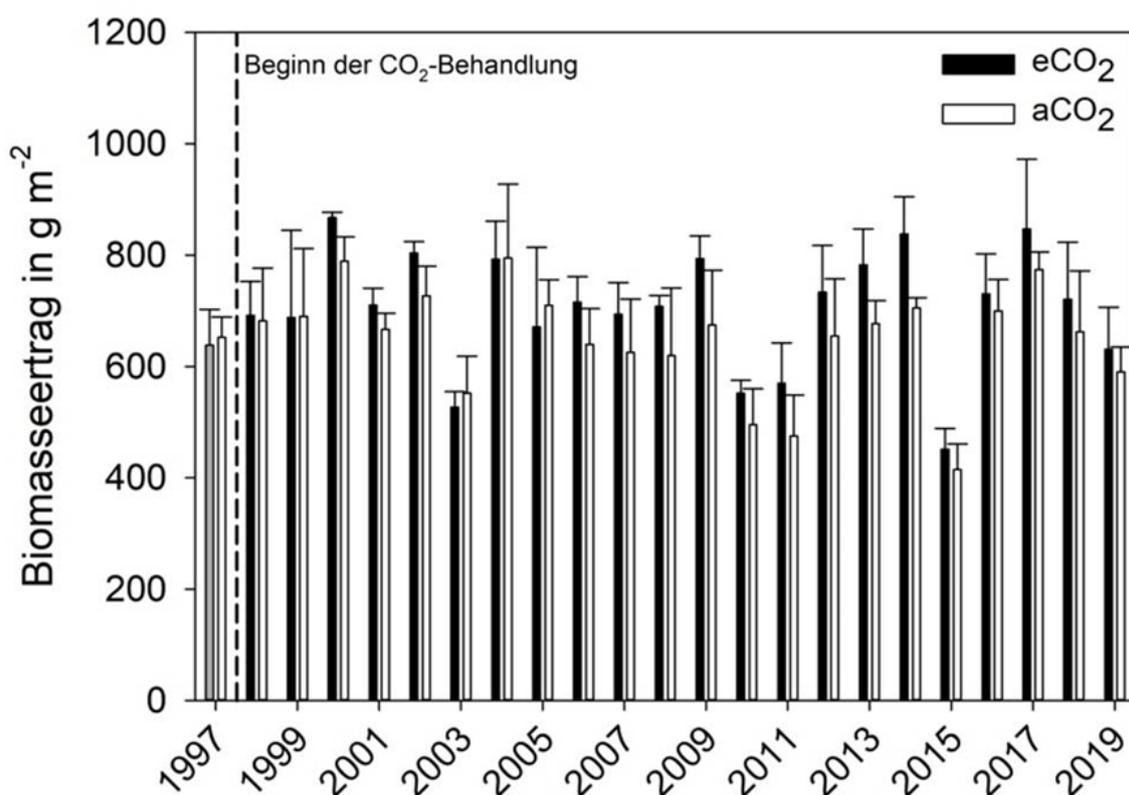


Abb. 1: Gesamterträge der oberirdischen Biomasse in g m<sup>-2</sup>; eCO<sub>2</sub> = erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration, aCO<sub>2</sub> = aktuelle CO<sub>2</sub>-Konzentration.

Untersuchungen der Futterqualität der Biomasse zeigten eine Abnahme des Rohproteingehalts (Abb. 2a-d) und eine Zunahme des Rohfasergehalts (nicht gezeigt) in den meisten Jahren des Zeitraums 2006 – 2015 unter eCO<sub>2</sub>. Allerdings zeigten nur die Kräuter einen

signifikanten CO<sub>2</sub>-Effekt für die zweite Ernte im Jahr bei den Rohproteinen (Abb. 2d) und den Rohfasern (nicht gezeigt).

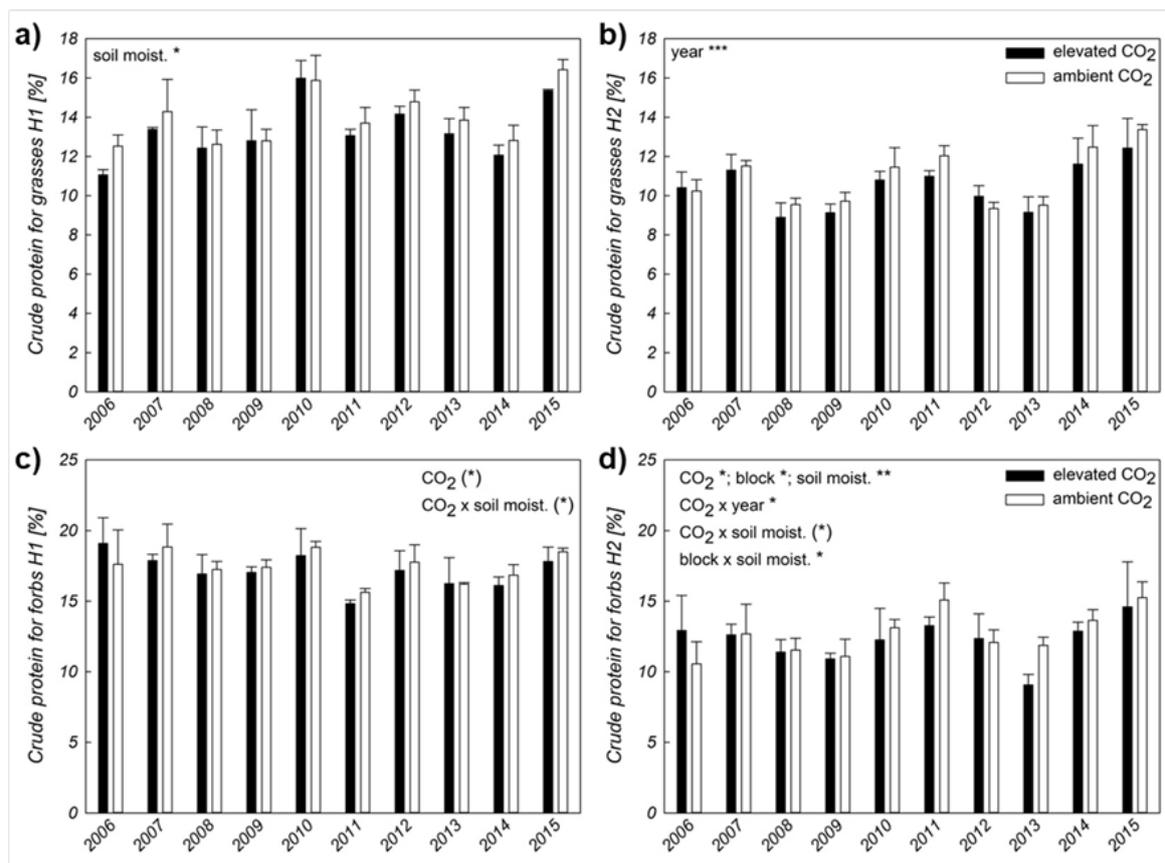


Abb. 2: Rohproteingehalt in % für Gräser a) erste jährliche Ernte (H1), b) zweite jährliche Ernte (H2) und Kräuter c) erste jährliche Ernte (H1), d) zweite jährliche Ernte (H2). Auswertungen eines linearen Mischmodells zeigen die Ergebnisse für Behandlung (CO<sub>2</sub>), Ringpaare (block), Zeit (year) und Bodenfeuchte (soil moist.). Signifikanzen werden angezeigt als: signifikant  $p \leq 0.05$  [\*], sehr signifikant  $p \leq 0.01$  [\*\*], hochsignifikant  $p \leq 0.001$  [\*\*\*] und tendenzielle Signifikanz  $p \leq 0.1$  [(\*)]. (Abbildung aus Seibert et al., unveröffentlicht).

Die meisten Nährstoffe zeigten einen signifikanten negativen CO<sub>2</sub>-Effekt für die drei funktionellen Hauptgruppen. Ausnahmen bildeten Phosphor bei den Leguminosen und Mangan bei den Kräutern, jeweils zur zweiten jährlichen Ernte (Tab. 1).

Tab. 1: Signifikante Unterschiede zwischen den CO<sub>2</sub>-Behandlungen der einzelnen Nährstoffe für Gräser, Kräuter und Leguminosen, getrennt nach den beiden jährlichen Ernten (H1; H2). Signifikanzen für den CO<sub>2</sub>-Effekt werden als signifikant  $p \leq 0.05$  [\*], sehr signifikant  $p \leq 0.01$  [\*\*], hochsignifikant  $p \leq 0.001$  [\*\*\*] und tendenzielle Signifikanz  $p \leq 0.1$  [(\*)] angezeigt. [↓] bedeutet negativer CO<sub>2</sub>-Effekt, [↑] bedeutet positiver CO<sub>2</sub>-Effekt. (Tabelle aus Seibert et al., unveröffentlicht).

Nutrients	Grasses		Forbs		Legumes	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
Nitrogen	* ↓	*** ↓	-	-	-	-
Phosphorus	-	* ↓	-	-	-	* ↑
Calcium	** ↓	*** ↓	(*) ↓	* ↓	(*) ↓	-
Magnesium	* ↓	** ↓	* ↓	-	* ↓	(*) ↓
Manganese	-	-	-	(*) ↑	-	-
K, Zn, Fe, Cu	-	-	-	-	-	-

Untersuchungen von Moser et al. (2018) zeigten deutlich, dass Grünlandökosysteme, welche typischerweise Kohlenstoffsinken für atmosphärisches CO<sub>2</sub> sind, allmählich zu Kohlenstoffquellen werden und in Zukunft mehr Treibhausgase zur globalen Erwärmung beitragen werden. Die Langzeitdatenreihe der Treibhausgasflüsse zeigte einen Anstieg von +12 % in der jährlichen Respiration des Ökosystems. Außerdem ein Anstieg der jährlichen N<sub>2</sub>O-Emission von +179 % und eine Abnahme von -81 % der CH<sub>4</sub>-Oxidation.

## Schlussfolgerungen

Die verschiedenen Untersuchungen im GiFACE zeigen einen deutlichen Einfluss von erhöhtem CO<sub>2</sub> auf das Grünlandökosystem. Veränderungen in der Ertragsbildung, der Futterqualität oder den Treibhausgasflüssen, auf Grund von gestiegenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen oder erhöhter Lufttemperatur, können zu erheblichen Veränderungen in den Ökosystemdienstleistungen führen.

## Literatur

Andresen, L.C., Yuan, N., Seibert, R., Moser, G., Kammann, C.I., Luterbacher, J., Erbs, M., Müller, C. (2018) Biomass responses in a temperate European grassland through 17 years of elevated CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* 24, 3875-3885.

Augustine, D.J., Blumenthal, D.M., Springer, T.L., LeCain, D.R., Gunter, S.A., Derner, J.D. (2018) Elevated CO<sub>2</sub> induces substantial and persistent declines in forage quality irrespective of warming in mixedgrass prairie. *Ecological Applications* 28, 721-735.

Hendrey, G.R. and Kimball, B.A. (1994) The FACE program. *Agricultural and Forest Meteorology* 70, 3-14.

Jäger H.-J., Schmidt S.W., Kammann C., Grünhage L., Müller C., Hanewald K. (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.

Moser, G., Gorenflo, A., Brenzinger, K., Keidel, L., Braker, G., Marhan, S., Clough, T.J., Müller, C. (2018) Explaining the doubling of N<sub>2</sub>O emissions under elevated CO<sub>2</sub> in the Giessen FACE via in-field <sup>15</sup>N tracing. *Global Change Biology* 24, 3897-3910.

Obermeier, W.A., Lehnert, L.W., Kammann, C.I., Müller, C., Grünhage, L., Luterbacher, J., Erbs, M., Moser, G., Seibert, R., Yuan, N., Bendix, J. (2017) Reduced CO<sub>2</sub> fertilization effect in temperate C<sub>3</sub> grasslands under more extreme weather conditions. *Nature Climate Change* 7: 137-141.

Yuan, N., Moser, G., Müller, C., Obermeier, W.A., Bendix, J., Luterbacher, J. (2018) Extreme climatic events down-regulate the grassland biomass response to elevated carbon dioxide. *Scientific Reports* 8, 17758.