

DISS. ETH No. 21187

**THE IMPACT OF SUMMER DROUGHT ON THE SHORT-TERM CARBON
CYCLE OF TEMPERATE GRASSLANDS**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
SUSANNE BURRI

MSc in Environmental Geosciences, University of Basel

6 November 1983
citizen of
Basel (BS)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Nina Buchmann
Prof. Dr. Alexander Knohl

2013

Abstract

For Central Switzerland, a reduction in mean summer precipitation of around 20% is projected for the end of the 21st century, along with an increased risk for summer drought. How the terrestrial carbon (C) cycle might respond to such changes in climate variability is, however, highly uncertain. 120 Gt C yr⁻¹ are globally taken up by the terrestrial biosphere via photosynthesis and 119.5 Gt C yr⁻¹ are released back into the atmosphere by respiration (thereof around 80-100 Gt C yr⁻¹ by soil respiration alone), thus the terrestrial biosphere is assumed to act as a carbon sink. However, these numbers strongly depend on the C cycle of the individual terrestrial ecosystems. In this regard, the coupling of above- and below-ground processes, i.e. how and with which speed C is allocated from above-ground plant parts to roots, and finally respired and released back to the atmosphere, plays a crucial role. Yet, these short-term C dynamics still bear many uncertainties and their response to climate change is unclear.

In the present study, we investigated the impact of summer drought on the short-term carbon cycle of grassland. Grasslands are wide-spread agro-ecosystems in Switzerland and account for around 70% of the agricultural area. Most experiments were performed on an intensively managed lowland grassland; in one aspect, the response of this grassland was also compared to an intermediately managed pre-alpine grassland. The research objectives were as follows:

- I. How fast does C move through the managed grassland ecosystem, from freshly assimilated C to soil CO₂ efflux? How long is the time lag for the coupling of above- and below-ground processes?

- II. How does summer drought influence the transfer from freshly assimilated C to soil CO₂ efflux in managed grasslands? What is the influence on CO₂ as well as on labeled ¹³C fluxes? How are C allocation patterns and C residence times influenced by drought and control conditions?
- III. What does the seasonal course of soil CO₂ efflux look like on two Swiss grasslands differing in altitude? Can any effects of the simulated summer drought be seen on the seasonal course of soil CO₂ efflux?

To address these research questions, we simulated summer drought by rain shelters excluding precipitation during 8-12 weeks in summer 2010 and 2011. In both years, a complex field setup was installed, consisting of self-designed soil CO₂ efflux chambers coupled to a quantum cascade laser spectrometer (QCLAS-ISO, Aerodyne Research Inc., MA, USA). This allowed for continuous measurement of soil CO₂ efflux and its isotopic composition. ¹³CO₂ pulse labeling experiments were performed, where we traced C through the plant-soil-atmosphere continuum. The soil CO₂ efflux measurements were complemented by samples of community above- and below-ground biomass, which were analyzed by isotope ratio mass spectrometry. The seasonal cycle of soil CO₂ efflux was measured every 2-3 weeks in 2011 with a manual system (LI-6400 combined with LI-6400-09 soil CO₂ flux chamber, LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA).

Under control conditions, we found the time lag between photosynthesis and soil CO₂ efflux to be of about 10 h (objective I). This biological time lag could, however, only be estimated after accounting for physical tracer back-diffusion, an often encountered problem in pulse labeling experiments performed in the field. Thereafter, our observations supported a close coupling of photosynthesis and soil CO₂ efflux on a diurnal time scale. In response to summer drought (objective II), the incorporation of recently fixed C into above-ground plant parts was reduced; however, proportional C allocation below-ground was increased. Soil CO₂ efflux was clearly reduced and so was the use of fresh assimilates for root respiration indicating a decoupling of photosynthesis and soil CO₂ efflux. The seasonal course of soil CO₂ efflux was considerably altered by the simulated summer drought (objective III), with effects lasting even beyond the period of drought simulation. Both for the seasonal course of soil CO₂ efflux as well as the short-term C cycle, a preceding spring drought (as it occurred in 2011) was shown to change the response to simulated summer drought.

In conclusion, our results suggested a strong impact of summer drought on the short-term carbon cycle of grassland, as C allocation mechanisms and dynamics were changed in response to summer drought. This is not only ecophysiologicaly relevant, but also of high importance for C sequestration considerations as well as for the better integration of plant-soil interactions into global carbon models in order to improve climate change predictions.

Zusammenfassung

Prognosen für die Zentralschweiz sagen eine Reduktion im mittleren Sommerniederschlag von etwa 20% mit einem erhöhten Risiko für Sommertrockenheit für das Ende des gegenwärtigen Jahrhunderts voraus. Wie sich die Veränderungen in der Klimavariabilität auf den terrestrischen Kohlenstoffkreislauf auswirken, ist noch sehr unklar. Jährlich werden global 120 Gt Kohlenstoff (C) über Photosynthese durch die terrestrische Biosphäre aufgenommen und 119.5 Gt C werden über Atmungsprozesse wieder an die Atmosphäre abgegeben (davon etwa 80-100 Gt C yr⁻¹ über die Bodenatmung), so dass die terrestrische Biosphäre momentan als C-Senke betrachtet wird. Diese Senken-Funktion hängt jedoch stark vom Kohlenstoffkreislauf der einzelnen Ökosysteme der Erde ab. In diesem Zusammenhang spielt die Verbindung von oberirdischen und unterirdischen Prozessen in Pflanzen und Boden eine wichtige Rolle: Wie und in welcher Geschwindigkeit wird Kohlenstoff von oberirdischen Pflanzenteilen in die Wurzeln verlagert und wie schnell gelangt dieser über Atmung wieder in die Atmosphäre? Die Kurzzeitdynamiken im Kohlenstoffkreislauf bergen noch viele Unsicherheiten und ihre Reaktion auf den Klimawandel ist in vieler Hinsicht unklar.

In der vorliegenden Dissertation wurde der Einfluss von Sommertrockenheit auf den kurzzeitigen Kohlenstoffkreislauf von Grasland untersucht. Grasländer sind weit verbreitete Agrarökosysteme in der Schweiz und machen etwa 70% der landwirtschaftlichen Fläche aus. Die dieser Studie zugrundeliegenden Experimente wurden in erster Linie auf einem intensiv bewirtschafteten Grasland im Schweizer Mittelland durchgeführt, während in einem Kapitel ein Vergleich zu einem voralpinen, weniger intensiv bewirtschafteten Weideland gemacht wurde. Die zu untersuchenden Fragestellungen waren die folgenden:

- I. Wie schnell wird Kohlenstoff von der Assimilation durch die Pflanze bis zur Abgabe an die Atmosphäre als CO₂ (über die Bodenatmung) durch das untersuchte Graslandsystem transportiert? Wie lange ist die zeitliche Verzögerung zwischen der oberirdischen Kohlenstoff-Aufnahme und dem Erscheinen des frisch assimilierten Kohlenstoffs in den Wurzeln oder in der Bodenatmung?
- II. Welchen Einfluss hat Sommertrockenheit auf den Transport von frisch assimiliertem Kohlenstoff bis zur Bodenatmung? Wie wird die Bodenatmung sowie deren Isotopenzusammensetzung dadurch beeinflusst? Wie verändern sich Kohlenstoff-Allokationsmuster und -verweilzeiten unter Sommertrockenheit?
- III. Wie unterscheidet sich der saisonale Gang der Bodenatmung auf zwei Grasländern in der Schweiz, die sich in ihrer Höhe über Meer unterscheiden? Sind Effekte der experimentell erzeugten Sommertrockenheit auf den saisonalen Gang der Bodenatmung erkennbar?

Um diese Fragestellungen zu beantworten, wurde Sommertrockenheit im Sommer 2010 und 2011 mit Dächern simuliert, die während 8-12 Wochen den Niederschlag ausschlossen. In beiden Jahren wurde ein komplexes System von spezialangefertigten Bodenatmungskammern, die mit einem Laserspektrometer verbunden waren, im Feld installiert. Dieses System ermöglichte Messungen der Bodenatmung sowie deren Isotopenzusammensetzung. Es wurden Puls-Labeling-Experimente mit ¹³CO₂ Tracer durchgeführt, wodurch frisch assimilierter Kohlenstoff durch das Pflanzen-Boden-Atmosphäre-Kontinuum verfolgt werden konnte. Die Bodenatmungsmessungen wurden durch Proben oberirdischer und unterirdischer Biomasse ergänzt, welche mittels Isotopenmassenspektroskopie auf deren ¹³C Gehalt analysiert wurden. Der saisonale Gang der Bodenatmung wurde 2-3-wöchentlich mit einem manuellen System gemessen.

Unter Kontrollbedingungen betrug die Zeitverzögerung zwischen Kohlenstoffaufnahme und -abgabe über die Bodenatmung 10 Stunden (Fragestellung I). Diese biologische Zeitverzögerung konnte aber nur abgeschätzt werden, nachdem die physikalische Tracer-Rückdiffusion, ein weit verbreitetes Problem bei Puls-Labeling-Experimenten im Feld, berücksichtigt wurde. Nachdem dies gemacht worden war, wurde eine zeitlich enger Zusammenhang zwischen Photosynthese und Bodenatmung gefunden. Als Reaktion auf die Sommertrockenheit (Fragestellung II) war der Einbau von frisch assimiliertem Kohlenstoff in die oberirdische Biomasse deutlich reduziert, aber die Verlagerung in die

Wurzeln war relativ erhöht. Die Bodenatmung sowie der Verbrauch von frischen Assimilaten für die Wurzelatmung waren unter Trockenstress deutlich reduziert. Auch der saisonale Gang der Bodenatmung wurde durch die simulierte Sommertrockenheit verändert (Fragestellung III). Ausserdem reagierten sowohl der saisonale Gang der Bodenatmung als auch der kurzzeitige Kohlenstoffkreislauf anders auf die experimentell simulierte Sommertrockenheit, wenn der Trockenheitssimulation eine natürliche Frühlingstrockenheit (wie 2011) voranging.

Zusammenfassend zeigten unsere Resultate einen starken Einfluss von Sommertrockenheit auf den kurzzeitigen Kohlenstoffkreislauf in Grasland, mit deutlich veränderten Kohlenstoffallokationsmustern und -dynamiken. Dies ist nicht nur von ökophysiologischer Bedeutung, sondern auch wichtig für Betrachtungen zur Kohlenstoff-Sequestrierung sowie für die Verbesserung von globalen Kohlenstoffmodellen.