



Doctoral Thesis

Carbon cycling in an alpine treeline ecosystem in a warmer world

Author(s):

Streit, Kathrin

Publication Date:

2012

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009782073> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 20882

**CARBON CYCLING IN AN ALPINE TREELINE ECOSYSTEM IN A
WARMER WORLD**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

For the degree of
Doctor of Sciences

Presented by
KATHRIN STREIT

Dipl.-Ing. Forestry ETH Zurich
born 22 April 1979
of Swiss nationality

Accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Nina Buchmann, examiner
Dr. Rolf T.W. Siegwolf, co-examiner
Dr. Frank Hagedorn, co-examiner
Prof. Dr. Arthur Gessler, co-examiner

2012

Summary

Understanding the effects of elevated atmospheric CO₂ concentration and global warming on CO₂ and H₂O fluxes in alpine treeline ecosystems is important, because alpine sites are strongly affected by anthropogenic warming. It is, however, not well understood, whether C gains or losses from these ecosystems will occur. We addressed this question at the alpine treeline of Stillberg Davos (2180 m a.s.l.) in a 35-yr old afforestation containing *Larix decidua* and *Pinus mugo* trees. Trees on this site were exposed to Free Air CO₂ Enrichment (FACE, 580 ppm, 2001-2009, $\delta^{13}\text{C}$ of added CO₂: c. -30‰) and soil warming (+4°C, 2007-2011). Five replications were installed per tree species and treatment combination: control, warmed, elevated CO₂, and elevated CO₂+warmed. In this experimental set up, we analyzed C and H₂O exchange between tree, soil and atmosphere in three sub-projects (chapters 2, 3 and 4) and determined the effects of elevated CO₂ and soil warming on:

- CO₂ and H₂O gas exchange of Larix and Pinus needles (photosynthetic uptake (A_n), stomatal conductance to water vapor ($g_{\text{H}_2\text{O}}$), carbon and oxygen stable isotope compositions of needles and tree rings),
- concentrations and transfer of recently fixed non-structural C compounds (NCC: low-molecular sugars, starch and lipids) through different tissues (needles, bark and wood) within *Larix* branches in spring 2010, and
- soil microbial biomass, community composition and metabolic activity as well as age of substrate used by soil microorganisms (plant-derived C assimilated before or after 2001 and therefore unlabeled or labeled by the FACE experiment).

Contrary to expectations, trees at Stillberg did not acclimatize (down-regulate) CO₂ saturated photosynthetic uptake (A_{max}) or reduce $g_{\text{H}_2\text{O}}$ under elevated CO₂, thus their transpiration rates remained unaffected and they showed a sustained enhancement of A_n (*Larix*: +39% and *Pinus*: +35%). Enhanced assimilation probably increased the amount of NCC available for C sink activities such as growth, NCC storage, metabolic respiration and root exudation during the nine years of FACE treatment (2001-2009). No increase in needles

sugars or decrease in needle N availability due to elevated CO₂ was observed, indicating lack of N limitation and sustained C transfer from the needles to active C sinks. In alpine ecosystems, however, C sink activities are generally temperature limited. This was shown at our site by higher NCC concentrations in branch wood and slower NCC transfer velocities between needles and bark for *Larix* trees compared to lowland *Larix decidua* (comparison with literature data). Which C sinks were available at Stillberg for the additionally acquired C under elevated CO₂? *Larix* trees at Stillberg only partially retracted NCC from needles before needle fall in autumn, thus they allocated C to the decomposer pathway and showed a limited capacity for storing additional amounts of NCC in branch wood. In contrast to *Pinus*, *Larix* trees were able to utilize additionally acquired C under elevated CO₂ for increased basal growth especially in warmer years with early snowmelt (CO₂ effect on *Larix* tree ring growth over nine years: +33%), while *Pinus* needles showed increased starch concentrations under elevated CO₂ (Dawes et al. 2013). Thus, elevated CO₂ increased C stocks aboveground, but also stimulated C allocation to the decomposer pathway. This triggered a 24% higher soil respiration and 20% higher dissolved organic C leaching from Stillberg soils under both tree species, while the microbial community composition and biomass remained unaffected by elevated CO₂ (Hagedorn et al. 2013). Given the expected important influence of temperature on alpine treeline ecosystems, it is surprising that our soil warming treatment did not stimulate C sink activities for trees. Soil warming had little effect on aboveground primary production (no increase in growth) or belowground sink strength (no stimulation in C transfer velocity or A_n). This could partly be due to the spatial limitation of the soil warming treatment to a restricted area within the soil while canopy temperatures remained unaffected. Within the warmed soil, however, the microbial metabolic activity of soil microorganisms was stimulated by 64%. Additionally, soil warming induced a shift in the substrate use of fungi and gram positive bacteria towards an increased decomposition of 'old' soil organic carbon ('old' SOC: plant-derived C assimilated before 2001). Thus, in our experimental set up at the alpine treeline, elevated CO₂ lead to increased C cycling through the plant-soil system, while soil warming stimulated the loss of 'old' SOC from the ecosystem.

Zusammenfassung

Welchen Einfluss haben globale Erwärmung und erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentration auf die C- und H₂O-Flüsse alpiner Ökosysteme? Wirken diese Ökosysteme als C-Quellen oder C-Senken? Alpine Regionen sind in grossem Ausmass von den Auswirkungen globaler Erwärmung betroffen. Deshalb widmeten wir uns diesen Fragen in einem Langzeit Freilandexperiment an der alpinen Baumgrenze (Stillberg, Davos, 2180 m über Meer). Bäume einer 35jährigen Anpflanzung Europäischer Lärche (*Larix decidua*) und Bergföhre (*Pinus mugo*) wurden experimentell erhöhten CO₂-Konzentration (580 ppm $\delta^{13}\text{C}$ des zugefügten CO₂ = -30‰; Laufzeit: 2001-2009; über eine Free-Air-CO₂-Enrichment (FACE)-Anlage) und erwärmten Boden (+4°C; Laufzeit: 2007-2011) ausgesetzt. Pro Baumart gab es fünf Wiederholungen jeder Behandlungskombination: Kontrolle, Gewärmt, Erhöhtes CO₂ und Erhöhtes CO₂+Gewärmt. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Auswirkungen erhöhter CO₂-Konzentration und Bodenerwärmung auf den C- und H₂O-Austausch zwischen Bäumen, Atmosphäre und Boden in drei Projekten untersucht (Kapitel 2, 3 und 4):

- C- und H₂O-Gaswechsel von Lärchen- und Föhrennadeln über Netto-Photosyntheserate (A_n), stomatäre Leitfähigkeit ($g_{\text{H}_2\text{O}}$) sowie die C- und O- Isotopenverhältnisse der Nadeln
- Konzentrationen und Transfer von frisch assimilierten, nicht-strukturgebunden Kohlenwasserstoffen (Non-structural Carbon Compounds: NCC: kleinmolekulare Zucker, Stärke und Fette) in Nadeln, Borke und Holz von Lärchenästen im Sommer 2010
- Mikrobielle Biomasse, Populationsstruktur und metabolische Aktivität im Boden, sowie Substratverwendung von Bodenmikroorganismen (alter oder neuer Humus, von den Pflanzen assimiliert vor oder nach 2001, isotopisch markiertes Pflanzenmaterial durch FACE)

Überraschenderweise verursachte die langfristig erhöhte CO₂-Konzentration bei den untersuchten Bäumen keine Anpassung der CO₂ saturierten Photosyntheseleistung (A_{max}) und es kam zu keiner Reduktion von $g_{\text{H}_2\text{O}}$. Aus diesem Grund zeigten beide Baumarten bei er-

höherer CO₂-Konzentration erhöhte A_n Werte (Lärchen: +39%, Föhren: +35%) und die Transpirationsrate (TR) blieb unverändert. Es ist anzunehmen, dass diese kontinuierlich erhöhte C-Assimilation während der neun FACE Jahre zu höherer Verfügbarkeit an NCC für C-Senken wie Wachstum, metabolische Respiration, Speicherung sowie Wurzelexudation geführt hat. Hohe NCC-Konzentrationen in den Nadeln würden zu einer Anpassung von A_{max} an die höheren CO₂ Konzentration führen. Eine solche Anpassung wurde jedoch nicht beobachtet, ausserdem blieb die Zucker und Stickstoff Konzentration in den Nadeln unverändert. Dies weist auf nachhaltigen NCC-Transfer aus den Nadeln zu aktiven C-Senken und nicht limitierende Stickstoffverhältnisse hin. Allerdings zeigten die untersuchten Lärchen eine limitierte Aktivität der C-Senken durch höhere NCC-Konzentrationen im Holz und einen langsameren NCC-Transfer aus den Nadeln in die Rinde verglichen mit Literaturwerten von Lärchen im Tiefland. Welche C-Senken standen also im alpinen Ökosystem für den zusätzlich assimilierten C unter erhöhter CO₂-Konzentration zur Verfügung? Die untersuchten Lärchen am Stillberg zeigten, dass beim Nadelabwurf im Herbst NCC nur unvollständig aus den Nadeln zurückgezogen wurde, was auf eine begrenzte C-Speicherkapazität im Holz hinwies, während NCC vermehrt dem Abbaukreislauf im Boden zugeführt wurde. Zudem investierten sie assimilierten C verstärkt in Breitenwachstum, insbesondere in warmen Jahren mit früher Schneeschmelze – mit insgesamt um 33% erhöhtem Jahrringbreitenzuwachs über neun Jahre erhöhter CO₂-Konzentration (Dawes et al. 2013). Föhren zeigten dagegen keine Wachstumsstimulation unter erhöhter CO₂ Konzentration, verfügten jedoch über höhere Stärkekonzentrationen in den Nadeln (Dawes et al. 2013). Erhöhte atmosphärische CO₂ Konzentration führte demnach an der alpinen Baumgrenze am Stillberg zu erhöhter oberirdischer C-Speicherung sowie vermutlich zu verstärktem C-Eintrag in den Boden, welcher die beobachtete 24% erhöhte Bodenrespiration sowie die 20% höherer Auswaschung von gelöstem Boden C bei unveränderter mikrobieller Biomasse und Populationsstruktur unter beiden Baumarten auslöste (Hagedorn et al. 2013). Es ist überraschend, dass die Bodenerwärmung nicht zur erhöhten Aktivität von C-Senken in den Bäumen geführt hat. Entgegen unseren Erwartungen führte Bodenerwärmung nicht zu erhöhter oberirdischer Primärproduktion (keine Wachstumsstimulation) oder zu stärkeren unterirdischen C-Senken (keine Stimulierung von A_n oder von NCC-Transfargeschwindigkeit). Dies könnte auf die räumliche Begrenzung der Bodenerwärmung zurückzuführen sein, welche die Lufttemperaturen nicht beeinflusste. Im unmittelbar gewärmten Boden nahm allerdings die mikrobielle metabolische Aktivität um 64% zu. Ausserdem kam es zur stärkeren Verwendung von älterem Humussubstrat durch Pilze. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass erhöhte CO₂ Konzentration an der alpinen Baumgrenze einen gesteigerten Kohlenstoffkreislauf im Versuchsökosystem zur Folge hatte, während Bodenerwärmung hauptsächlich den Abbau von altem Humus aus dem Boden stimulierte.