Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Basel ; Naturforschende Gesellschaft Baselland

Band: 15 (2014)

Artikel: Der Wald in einer CO2-reichen Welt : Auswirkungen von erhöhtem CO2 auf ausgewachsene Waldbäume in natürlicher Umgebung

Autor: Körner, Christian / Bader, Martin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-676586

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 21.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der Wald in einer CO_2-reichen Welt

Auswirkung von erhöhtem CO_2 auf ausgewachsene Waldbäume in natürlicher Umgebung

Christian Körner und Martin Bader

Zusammenfassung: Pflanzen nehmen in der Photosynthese CO_2 aus der Luft auf. Ob das durch menschliche Aktivitäten erhöhte CO_2-Angebot in der Atmosphäre jedoch dazu führt, dass Pflanzen schneller wachsen, ist sehr ungewiss. Dazu müssten alle anderen lebenswichtigen chemischen Elemente ebenso vermehrt zur Verfügung stehen. Um diese Frage erstmals für einen natürlichen Wald zu klären, exponierten Basler Forscher ausgewachsene Waldbäume für 8 Jahre einer CO_2-Konzentration, wie sie in 60–80 Jahren herrschen wird. Das Experiment ergab keine Hinweise auf vermehrtes Baumwachstum. Der Wasserverbrauch der Bäume wurde unter erhöhtem CO_2 etwas eingeschränkt, und es wurde mehr Nitrat ins Grundwasser abgegeben. Die untersuchten Baumarten verhielten sich unterschiedlich, was darauf hindeutet, dass es im Wettbewerb der Arten Gewinner und Verlierer geben dürfte. Insgesamt waren die Reaktionen aber sehr gering, so dass diese Resultate keine grossen Veränderungen im Oekosystem Wald erwarten lassen. Es gibt keine Anhaltpunkte, dass die CO_2-Erhöhung in der Atmosphäre positive Wirkungen auf den Wald entfaltet.

Abstracts: Plants absorb CO_2 during photosynthesis. Whether the anthropogenic enrichment of the atmosphere with CO_2 will stimulate plant growth is highly questionable. This would require a proportional increase in the availability of other essential chemical elements. To explore this question for the first time in a natural forest, researchers in Basel exposed fully grown, mature deciduous forest trees for 8 years to CO_2 concentrations as they will exist in 60–80 years. The experiment yielded no indication of a stimulation of tree growth. Trees consumed slightly less water and the rate of nitrate release to ground water was enhanced under trees receiving CO_2 enrichment. The examined tree species responded slightly differently, suggesting that there will be winners and losers. However, the overall responses were minute, so that it seems unlikely that there will be significant changes in such forest ecosystems. There are no hints at a positive effect of elevated CO_2 on forest performance.

Key words: Laubwald, Forstwirtschaft, Biodiversität, Pilze, Forstinsekten, Photosynthese, Kohlenstoff

Einleitung

Dass das Brot, das wir essen und das Holz, mit dem wir bauen im Wesentlichen aus der Luft stammen, erstaunt auch heute noch – mehr als 200 Jahre nach der Entdeckung der Photosynthese. Pflanzen nehmen CO_2 (Kohlendioxid) aus der Luft auf und bauen daraus mit Hilfe der Sonnenenergie ihre Körpersubstanz auf (Abb. 1). Daran knüpfte sich früher die Vorstellung, dass mehr CO_2 in der Luft, also mehr Verbrauch fossiler Energie, das Pflanzenwachstum fördert. Vergessen wurde dabei, dass weder Pflanzen noch unser eigener Körper nur aus Kohlenstoffverbindungen bestehen, sondern viele weitere chemische Elemente nötig sind, damit sich Pflanzen und Tiere gesund entwickeln können. Diese anderen chemischen Elemente vermehren sich jedoch nicht, wenn der CO_2-Pegel in der Luft steigt – auch im Wald nicht. Es stellte sich die Frage, ob Pflanzen in freier Natur, einschliesslich unserer Waldbäume, beim heutigen CO_2-Pegel in der Luft überhaupt CO_2-limitiert sind (Körner 2003).

Der Wald ist nicht nur unser grösster Kohlenstoffspeicher, sondern auch ein wichtiger Rohstoff- und Energielieferant (Körner 2009). Wie aber gehen unsere Waldbäume mit der stetig steigenden CO_2-Konzentration in der Luft um? Dieser Beitrag ist eine Zusammenfassung einer allgemeinen Darstellung der Resultate eines Grossversuches zur Frage der CO_2-Wirkung im Wald (Körner und Bader 2010).

Abb. 1: Bäume nehmen CO_2 (Kohlendioxid) aus der Luft auf und bauen daraus mit Hilfe der Sonnenenergie ihre Körpersubstanz auf.

Weltweit einmaliges Forschungsexperiment

Dieser Frage ging das weltweit einzige CO_2-Anreicherungsexperiment an ausgewachsenen Laubbäumen nach, das an der Universität Basel in freier Natur durchgeführt wurde. In dem Experiment im solothurnischen Hofstetten bei Basel wurden etwa 100-jährige Laubbäume acht Jahre lang einer Atmosphäre ausgesetzt, wie sie in etwa 60 bis 80 Jahren herrschen dürfte. Die Ergebnisse geben einen Einblick, wie subtil und verwoben die zu erwartenden Veränderungen im Wald sind, insbesondere wie sich diese atmosphärischen Einflüsse auf den Wasserhaushalt und die Artenvielfalt im Wald auswirken können (Körner und Bader 2010; Bader et al 2013).

Abb. 2: Schweizer Forschungskran (Swiss Canopy Crane SCC) in Hofstetten (SO) in der Nordschweiz.

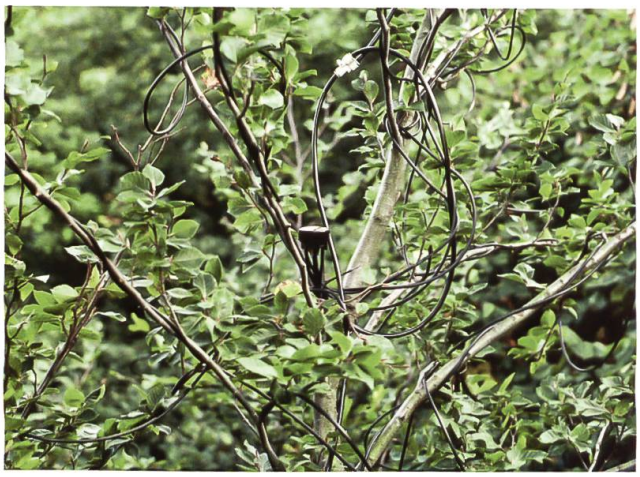

Abb. 3: Gasverteilung im Kronenraum. Aus winzigen Poren dieser Schläuche wird CO_2 verströmt.

Die Versuchsfläche des Schweizerischen Forschungskrans (Swiss Canopy Crane SCC) liegt auf 550 m ü. NN am Nordfuss des Jura, im Nordwesten der Schweiz. Das ausgewählte Waldstück zeichnet sich durch hohen Artenreichtum aus und liegt etwas abseits der intensiv durchforsteten Wälder (Abb. 1, 2). Für die CO_2-Anreicherung wurden 12 Laubbäume ausgewählt (Buche, Traubeneiche, Hagebuche, Sommerlinde, Feldahorn und Vogelkirsche). Die Höhe der Baumwipfel beträgt zwischen 28 und 35 m. Der Bodentyp ist eine Redzina auf zerklüftetem Kalkfels. Gemessen an seiner Wüchsigkeit, gehört der Wald zu einer hohen Bonitätsstufe.

Die CO_2-Anreicherung erfolgte mit der FACE-Methode (Free Air CO_2 Enrichment). Dabei wird auf jegliche Umhüllung der Pflanzen verzichtet, um eine Veränderung des Mikroklimas zu vermeiden. Bei der Anreicherung wird reines, lebensmitteltaugliches Kohlendioxid (gereinigter Industrieabfall) in die Atmosphäre verströmt, das sich mit der Luft mischt und den CO_2-Pegel auf die gewünschte Höhe anhebt. Bei diesem Verfahren wird das Kohlendioxid aus Schläu-

CO_2 besteht aus Kohlenstoff (C) und Sauerstoff. In freier Natur besteht Kohlenstoff zu 99 % aus ^{12}C und zu 1 % aus dem schwereren C Isotop ^{13}C. Da bei der pflanzlichen Photosynthese CO_2 aus ^{13}C etwas benachteiligt (diskriminiert) wird, unterscheidet sich das $^{13}C/^{12}C$ Isotopenverhältnis in Pflanzengeweben von dem in der Luft. Das war schon so, als urzeitliche Pflanzen den Kohlenstoff assimilierten, der heute in Erdöl, Erdgas und Kohle steckt. Das hier eingesetzte CO_2-Gas besitzt deshalb etwas weniger ^{13}C als normale Luft. Diese Isotopensignatur des Gasgemisches nehmen die Bäume in ihre Gewebe auf. Wo immer dieser Kohlenstoff im Baum hingelangt, lässt sich so die Signatur des neu eingebauten C mit dem Massenspektrometer nachweisen. In Kooperation mit dem Paul Scherrer Institut war es so möglich, den gesamten Weg des Kohlenstoffs von der Photosynthese bis zur Freisetzung durch Mikroorganismen aus dem Boden zu verfolgen. Die Konzentration dieses Isotops im Pflanzengewebe zeigt auch, wie lange es dauert, bis bestehende (alte) Kohlenstoffvorräte vollkommen durch neu aufgenommenen Kohlenstoff ersetzt werden.

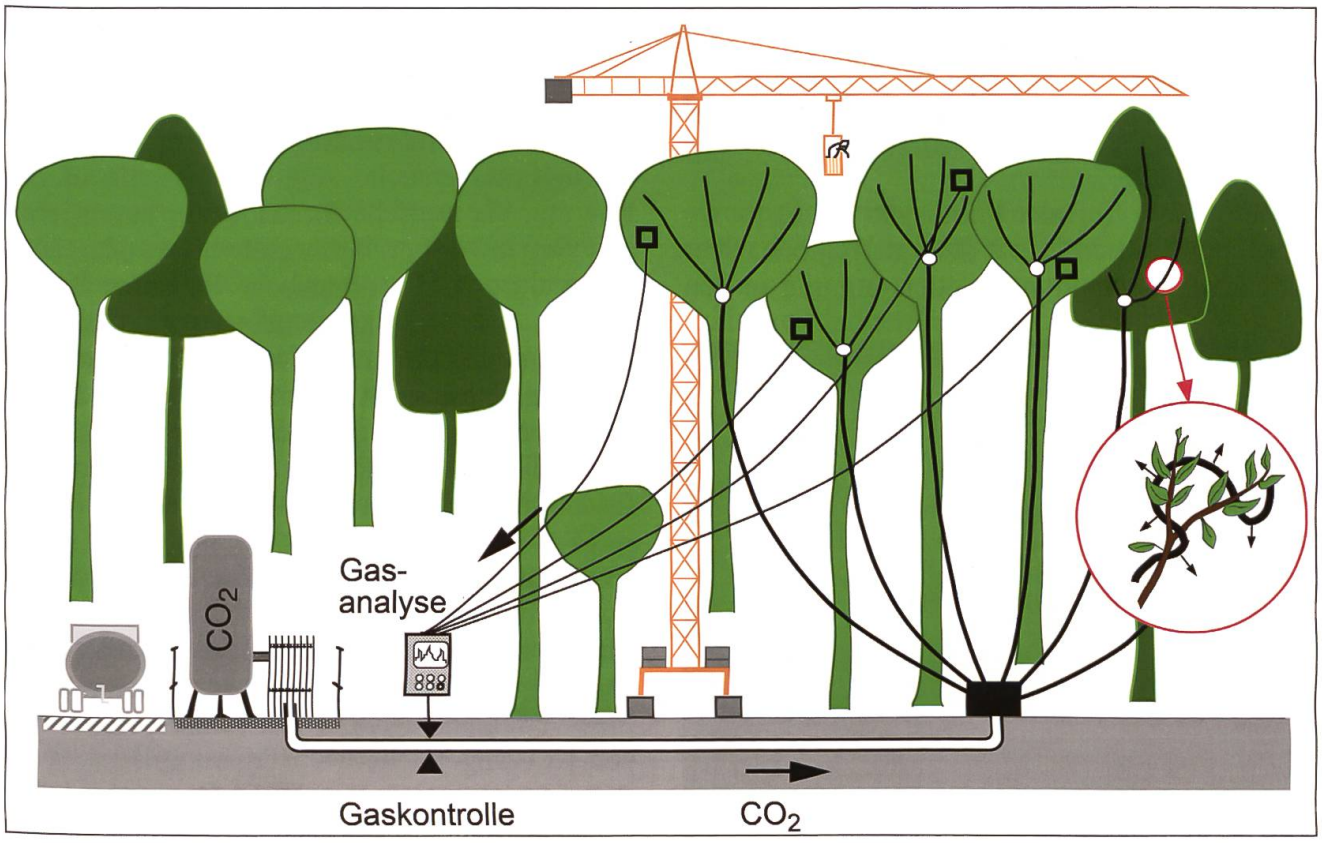

Abb. 4: Schema des CO_2-Anreicherungsexperimentes im Laubwald am Forschungskran.

chen verströmt, die direkt in die Baumkronen «eingewoben» werden (Abb. 3). Ein Computer steuert über Regelventile die CO_2-Zufuhr in die Baumkronen (Abb. 4). Die CO_2-Anreicherung erfolgt hierbei ausschliesslich im Kronenraum. Pro Baum werden (von einer Arbeitsgondel aus, Abb. 5) ca. 1 km dünne Spezialschläuche in den Kronen angebracht, ohne die Bäume zu verletzen. Die Schläuche weisen feine Poren auf, durch die das Kohlendioxid mit hohem Druck freigesetzt und dann innerhalb weniger Zentimeter mit der umliegenden Luft verwirbelt wird.

Der Weg der neuen Photosynthese-Produkte

Es dauerte etwa vier Jahre, bis alle neu gebildeten Strukturen der untersuchten Waldbäume die Signatur der CO_2-Anreicherung in sich trugen. Die als Nebeneffekt dieses Experimentes erfolgte Markierung der Photosynthese-Produkte mit «neuem» Kohlenstoff ergab zwei interessante Einblicke in den Kohlenstoffkreislauf solcher Wälder:

1. Bereits drei Monate nach Beginn der CO_2-Anreicherung im Jahr 2000 bestanden die Fruchtkörper der herbstlichen Waldpilze im Umfeld der Bäume mit erhöhtem CO_2 zu 60 % aus neuem Kohlenstoff. Dies beweist die enge Verbindung zwischen Baum und Pilzpartner.
2. Ein grosser Teil der Photosynthese-Produkte gelangte entweder auf diesem Weg oder über Wurzelausscheidungen oder -atmung in den Boden. Beides führt zumindest anfangs zu einem erhöhten Ausstoss an Kohlendioxid aus dem Waldboden.

Abb. 5: Messungen an den Buchenblättern von der Krangondel aus.

Veränderungen im Gewebe und in den Organen der Bäume

Von Anfang bis Ende des 8-jährigen Experiments war die Photosyntheserate der Blätter aller Baumarten bei zusätzlichem CO_2-Angebot deutlich erhöht. Es fand also keine Anpassung an die erhöhte CO_2-Konzentration statt (die Blätter wurden nicht «träger»). Die Proteinkonzentration der Blätter, die eng mit der Photosyntheseleistung verknüpft ist, hat sich – entgegen der Erwartung – nicht verändert.

In anderen Studien wurde häufig beobachtet, dass Pflanzen unter erhöhtem CO_2 u.a. mehr Reservestärke anhäufen. In den Baumkronen der Hofstetter Bäume tat dies nur die Eiche und zwar ausgeprägt und seit Anfang der CO_2-Anreicherung. Sobald das Gas nach acht Jahren abgedreht wurde, verschwand dieses Signal wieder. Eine Zunahme des Kohlenstoffvorrats in der Bodenstreu kann ausgeschlossen werden. Die Bäume produzierten nicht mehr Blätter und damit auch nicht mehr Falllaub.

Auch in der Nahrungskette lässt sich der Weg des Kohlenstoffs verfolgen. Hierzu durchgeführte Frassversuche zeigten, dass die in der Literatur als typische Streuabbauer beschriebenen Regenwürmer, Springschwänze oder Milben u.a. nur ältere organische Reste im Boden frassen, die noch keine Isotopensignatur der CO_2-Anreicherung aufwiesen (also aus der Zeit vor dem Experiment stammten). Frische Laubstreu verschmähten diese Bodentiere hingegen. Auch dies sind völlig neue, forstökologische Erkenntnisse (Pollierer et al. 2007).

Reaktionen von Forstinsekten

Einige Insekten wie die Nonne (Nachtfalter) zeigten in Versuchsgelegen ein verändertes Fressverhalten. Obwohl die Raupen mehr von den CO_2-angereicherten Blättern frassen, wurden sie nicht schwerer als die Raupen auf den Kontroll-Bäumen. Ein nahe verwandtes Insekt, der forstlich ebenfalls wichtige Schwammspin-

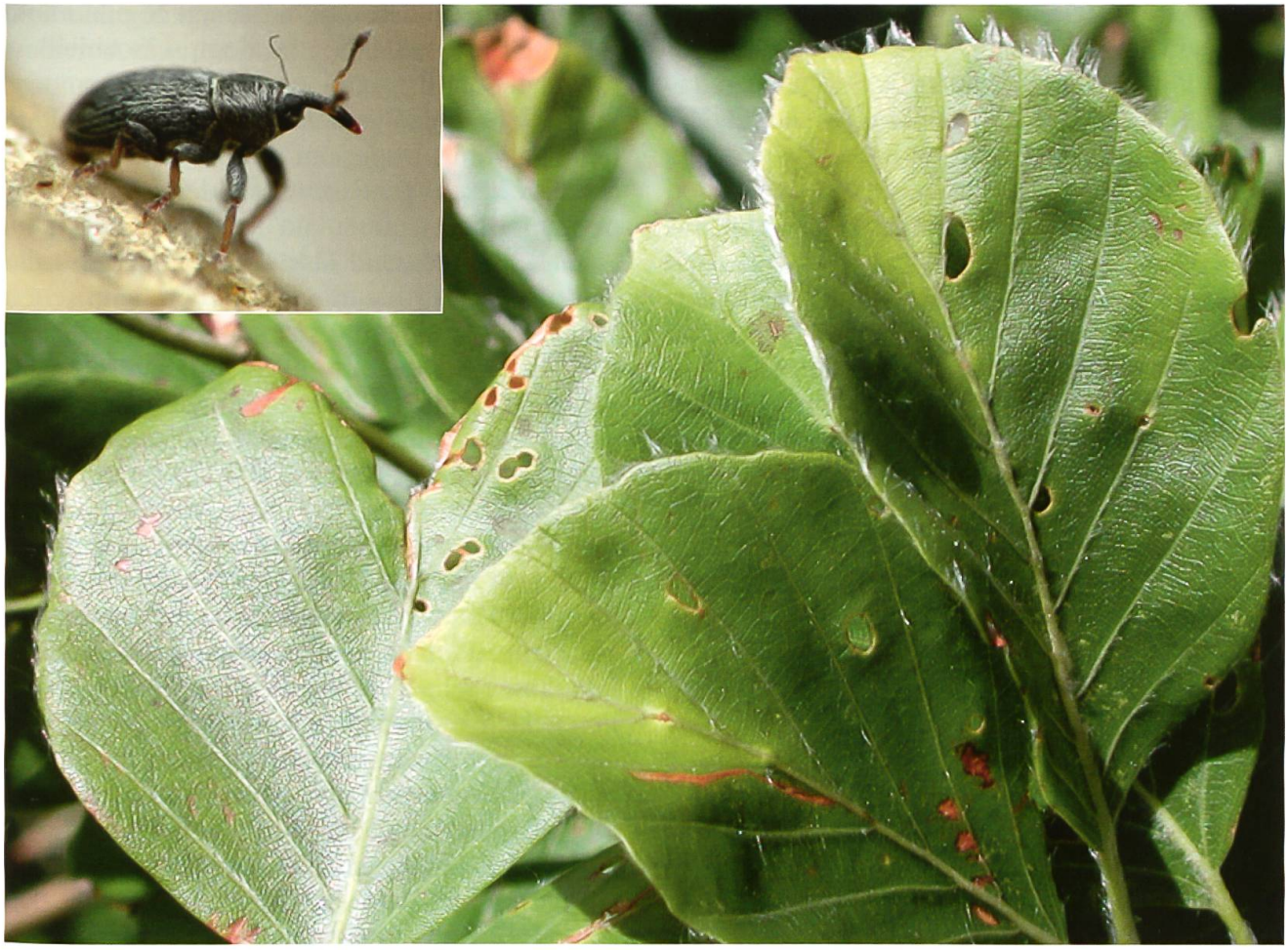

Abb. 6: Gelbe Blattspitzen und Frasslöcher in Buchenblättern sind Anzeichen für das Wirken des Buchenspringrüsslers

ner, reagierte auf das zusätzliche CO_2 je nach Baumart mit unterschiedlichen Wachstumsraten der Raupen. An CO_2-begasten Hagebuchen waren die Raupen kräftiger, bei ebenso behandelten Eichen ging das Wachstum der Raupen zurück und bei Buche zeigte sich keine Reaktion (Hättenschwiler und Schafellner 2004). Der auf Buchen obligatorische Buchenspringrüssler (Abb. 6) verursacht neben Minier- und Lochfrass auch gelbe Spitzen an Buchenblättern, weil die Muttertiere bei der Eiablage die Leitungsbahnen durchtrennen. Diese Spitzen sind voll von Stärke, weil die Photosyntheseprodukte nicht abtransportiert werden können. Die Weibchen legten mehr Eier auf die Blätter von hoch-CO_2-Buchen (Bignucolo und Körner 2010). Allerdings liessen sich diese Beobachtungen statistisch nicht absichern, sodass die Auswirkung auf die betroffenen Bäume vorerst offen bleibt.

Wasserhaushalt der Bäume unter erhöhtem CO_2-Angebot

Es ist seit langem bekannt, dass sich bei vielen Pflanzen die Blattporen verengen, wenn die CO_2-Konzentration in der Umgebung der Blätter erhöht ist, ein Verhalten, das mit effizientem Umgang mit Wasser erklärt wird. Die drei Hauptbaumarten reagierten allerdings gar nicht einheitlich (Abb. 7). Bei der Hagebuche war der Wasserverbrauch unter erhöhtem CO_2 klar vermindert, die Buche reagierte schwach und die Eiche gar nicht. Die insgesamt leicht verminderte Verdunstung des Bestandes führte zu einem langsameren Austrocknen des Bodens in regenfreien Perioden, also zu leicht erhöhter Bodenfeuchte. Dauert die regenfreie Periode mehr als ein paar Tage, verschwindet der Effekt, weil dann einfach alles verfügbare Wasser aufgenom-

men wird (Leuzinger und Körner 2009). Diese Resultate sind ein schönes Beispiel für die Bedeutung der Artenvielfalt im Wald und wie das aktuelle Wetter mitentscheidet ob sich CO_2-Effekte ausbilden können.

Baumwachstum unter erhöhtem CO_2-Angebot

Die vorliegenden Ergebnisse lassen quer über die untersuchten Baumarten keine signifikante Wachstumssteigerung unter erhöhtem CO_2-Angebot erkennen. Im Vergleich zu zahlreichen Experimenten mit jüngeren Bäumen zeigt dieses erste und bisher einzige CO_2-Anreicherungsexperiment mit erwachsenen Waldbäumen in natürlicher Umgebung nicht die erwartete Wachstumsstimulierung (Körner et al. 2004; Bader et al. 2013).

Abb. 7: Arbeiten zum Wasserhaushalt von der Krangondel aus.

Abb. 8: Die Versuchsfläche mit dem Kran im Jura auf 550 m ü. M.

Auch alle anderen gemessenen Signale sind relativ klein, verglichen zu dem, was üblicherweise an Sämlingen, eingetopften Pflanzen oder jungen Beständen gemessen wird. Die Resultate mahnen somit insgesamt zur Vorsicht vor dem Hochskalieren von Resultaten kleinskaliger Experimente.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Wirkung von Kohlendioxid auf den heimischen Wald wohl kaum ertragswirksam werden dürfte, aber auch gravierende, negative Einflüsse sind unwahrscheinlich. Diese Aussage ist insofern wichtig, als in der globalen CO_2-Diskussion immer wieder betont und auch politisch argumentiert wird, dass die CO_2-Anreicherung in der Atmosphäre auch positiv zu sehen sei, denn sie stimuliere das Wachstum der Wälder, was hier nicht der Fall war. Ein derzeit laufendes Experiment mit 37 m hohen Fichten bestätigt diese Resultate. Selbst in jungen Baumplantagen verlieren sich anfängliche Wachstumssignale mit der Zeit (Norby und Zak 2011).

Bei Nährstoffmangel kann ein erhöhtes CO_2-Angebot sogar ungünstige Folgen haben. An Nadelbäumen in mageren Bergwaldböden wurde gezeigt, dass die CO_2-Anreicherung den Nährstoffmangel noch verstärken kann (Hättenschwiler und Körner 1998). Wegen der nährstoffbedingten Wachstumshemmung gaben die Bäume die überschüssigen (nicht ‹verbaubaren›) Kohlenhydrate über die Wurzeln an den Boden ab und Mikroben absorbierten den Kohlenstoff. Da auch Mikroben Bodennährstoffe benötigen, wurden sie damit zu Nährstoffkonkurrenten für die Bäume. Das führte unter erhöhtem CO_2 zu sichtbar gedrungenerem Wuchs, sowie dichterem und härterem Holz, ein Effekt, den man mit einer Stickstoffdüngung wiederum aufheben konnte. Interessanterweise zeigten die Schäden des Sturms Lothar, dass raschwüchsige Fichten auf nährstoffreichen Böden bevorzugt am Schaft brachen, während sich langsam wüchsige Fichten auf weniger guten Böden «versteiften» und eher entwurzelt wurden. Darin mag sich die Balance zwischen Nährstoff- und Kohlenstoffversorgung widerspiegeln (Meyer et al. 2008). CO_2-Anreicherung induziert eine Überversorgung mit Kohlenstoff, sofern Bodennährstoffe nicht im Überschuss vorhanden sind. Somit

bleibt die Frage offen, wo der überschüssige Kohlenstoff hingeht, der zwar vermehrt aufgenommen wird, aber weder in der Biomasse, noch in einem langfristig erhöhten Recycling wiederzufinden ist.

Der Verbleib dieses «missing carbon» wurde bis heute noch von niemandem schlüssig geklärt. Eine Möglichkeit könnte sein, dass überschüssiger Kohlenstoff vermehrt in gelöster organischer Form oder in anorganischer Form als Bikarbonat mit dem Sickerwasser aus dem Bodenkörper ausgespült wird. Unter den mit CO_2 angereicherten Bäumen stellte sich heraus, dass die Bodenlösung 20–30 % mehr gelösten anorganischen Kohlenstoff enthielt und dass mehr Nitrat freigesetzt wird, das ins Grundwasser gelangt (Schleppi et al. 2012. Dieser sogenannte «priming effect», bei dem alte C und N Verbindungen im Humus unter dem Einfluss frischer Kohlehydrate von Mikroben freigesetzt werden, fiel bereits bei einem unserer ersten CO_2 Experimente, damals mit Tropenwald-Modell Oekosystemen, auf (Körner und Arnone 1992) und bestätigte sich erst kürzlich wieder in alpinem Rasen (Inauen et al. 2012).

Forstwirtschaftlich relevante Veränderungen im Wald sind nicht zu erwarten

Unter natürlichen Wachstumsbedingungen ist es sehr wahrscheinlich, dass keine forstwirtschaftlich relevanten Veränderungen im Wald (z.B. Holzproduktion) stattfinden. Es darf vermutet werden, dass bestimmte Schlüsselelemente in der Nährstoffversorgung der Bäume (Phosphor, Kalium, Magnesium etc.) zum wachstumsbegrenzenden Faktor werden, weil das CO_2-Angebot überaus reichlich ist, und weil zudem die Wirkung der Stickstoffdeposition aus der Luft dazu kommt.

Die achtjährige Dauer dieses Experiments ist vermutlich immer noch zu kurz, und der simulierte CO_2-Anstieg um 150 ppm sehr plötzlich, um im Vergleich zum langfristigen CO_2-Anstieg um etwa 2 ppm pro Jahr ein realistisches Abbild der zukünftigen Wirklichkeit zu erhalten. Die notwendigerweise plötzliche experimentelle Erhöhung des CO_2-Pegels dürfte aber eher zu einer stärkeren Reaktion der Bäume führen. Wenn also unter solchen Bedingungen derart geringe Reaktionen auftreten, dürften sie unter allmählichem CO_2-Anstieg noch geringer sein. In diesem Sinn tendieren derartige Experimente eher zur Über- als zur Unterschätzung langfristiger Effekte. Wäre das Experiment nach drei oder vier Jahren abgebrochen worden, wäre ein signifikanter Zuwachs der Buche im Raum stehen geblieben, der aber über die Folgejahre wieder verschwand. Das laufende Experiment mit 37 m hohen Fichten – der häufigsten Baumart der Schweiz (in Abb. 8 sind die Bäume erkennbar), liefert erste Ergebnisse, die in dieselbe Richtung weisen. Jetzt im vierten Jahr der CO_2-Erhöhung ist keine Wachstumsreaktion zu erkennen.

Literatur

Bader M.K.F., Leuzinger S., Keel S.G., Siegwolf RTW, Hagedorn F., Schleppi P., Körner C. (2013) Central European hardwood trees in a high CO_2 future: synthesis of an 8-year forest canopy CO_2 enrichment project. J Ecol 101:1509–1519

Bignucolo O., Körner C. (2009) Leaf miner activity and its effects on leaf chemistry in adult beech under elevated CO_2. Basic Appl Ecol 11:251–256.

Hättenschwiler S., Schweingruber F.H., Körner C. (1996) Tree ring responses to elevated CO_2 and increased N deposition in Picea abies. Plant Cell Environ 19:1369–1378

Hättenschwiler S., Körner C. (1998) Biomass allocation and canopy development in spruce model ecosystems under elevated CO_2 and increased N deposition. Oecologia 113:104–114

Hättenschwiler S., Schafellner C. (2004) Gypsy moth feeding in the canopy of a CO_2-enriched mature forest. Global Change Biology 10:1899–1908

Inauen N., Körner C., Hiltbrunner E. (2012) No growth stimulation by CO_2 enrichment in alpine glacier forefield plants. Glob Change Biol 18:985–999

Körner C., Arnone J.A. III (1992) Responses to elevated carbon dioxide in artificial tropical ecosystems. Science 257:1672–1675

Körner C. (2003) Carbon limitation in trees. Journal of Ecology 91:4–17.

Körner C., Asshoff R., Bignucolo O., Hättenschwiler S., Keel S.G., Pelaez-Riedl S., Pepin S., Siegwolf R.T.W., Zotz G. (2005) Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO_2. Science 309:1360–1362.

Körner C. (2009) Biologische Kohlenstoffsenken: Umsatz und Kapital nicht verwechseln! GAIA 4:288–293

Körner C., Bader M. (2010) Der Wald in einer CO_2-reichen Welt. Lehrmittelverlag Kanton Solothurn, Solothurn

Leuzinger S. & Körner C. (2009) Rainfall distribution is the main driver of runoff under future CO_2-concentration in a temperate deciduous forest. Global Change Biology 16:246–254.

Norby R.J., Zak D.R. (2011) Ecological Lessons from Free-Air CO_2 Enrichment (FACE) Experiments. Annu Rev Ecol Evol Syst 42:181–203

Meyer F.D., Paulsen J., Körner C. (2008) Windthrow damage in *Picea abies* is associated with physical and chemical stem wood properties. Trees – Structure and Function 22:463–473.

Pollierer M.M., Langel R., Körner C., Maraun M., Scheu S. (2007). The underestimated importance of belowground carbon input for forest soil animal food webs. Ecology Letters 10, 729–736.

Schleppi, P., Bucher-Wallin, I., Hagedorn, F. and Körner, C. (2012), Increased nitrate availability in the soil of a mixed mature temperate forest subjected to elevated CO_2 concentration (canopy FACE). Global Change Biology, 18: 757–768.

Vollständiger Originaltext
dieser Zusammenfassung:

Körner, Christian und Bader, Martin (2010)
Der Wald in einer CO_2-reichen Welt
Lehrmittelverlag Kanton Soloturn
Preis: Fr. 15.–
Umfang: 38 S.
ISBN:978-3-905470-50-5
Das Buch ist im Buchhandel erhältlich oder kann beim Verlag bestellt werden.

Kontakt:
Christian Körner
Botanisches Institut
Schönbeinstrasse 6
CH-4056 Basel
ch.koerner@unibas.ch