

CHRISTIAN KÖRNER<sup>1</sup>

## Der Kohlenstoffhaushalt der Biosphäre in einer CO<sub>2</sub>-reichen Welt

### Zusammenfassung des Vortrages vom 25. November 2014

*Alles Leben hängt vom Element Kohlenstoff ab. Es ist, nach Wasserabzug, mit grob 50% Anteil an der organischen Substanz das mengenmässig wichtigste chemische Element der Biomasse. Im Wege der pflanzlichen Photosynthese wird seine höchst oxidierte Form, das CO<sub>2</sub>, aus der Luft aufgenommen und in chemisch reduzierter Form, zunächst als Zucker, zum Baustein und Ausgangsprodukt aller weiterer organischer Verbindungen. Zum Ort der photosynthetischen Reduktion von CO<sub>2</sub> in der Matrix der Chlorophyllkörner, diffundiert CO<sub>2</sub> durch die Stomataporen der Blattoberfläche, entlang der Zellzwischenräume im Blatt, dann durch die Zellwand, die Zellmembran, das Cytoplasma, bis in das Chlorophyllkorn. Diese Behinderung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme führt dazu, dass am Ort der Synthese immer mehr CO<sub>2</sub> verarbeitet werden könnte als nachdiffundiert. Das ist der Grund, warum Blätter in einer Umgebung mit künstlich erhöhter CO<sub>2</sub> Konzentration ihre Photosynthese steigern können – zunächst unabhängig davon, ob die Produkte auch gebraucht werden können. Die Photosynthese ist beim heutigen CO<sub>2</sub>-Pegel in der Atmosphäre von etwa 400 ppm rein biochemisch noch nicht CO<sub>2</sub>-gesättigt. An diese seit langem bekannte Tatsache knüpft sich die verbreitete Vorstellung, dass ein steigender CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft, neben dem unerwünschten Treibhauseffekt, einen stimulierenden Effekt auf die Photosynthese, auf das Wachstum und schliesslich auf die Kohlenstoffspeicherung der Biosphäre haben sollte. Diese vermeintlich logische Ereigniskette unterliegt allerdings zwei Trugschlüssen: Erstens, dass das Wachstum grundsätzlich von der photosynthetischen Leistung, also von der Kohlenstoffaufnahme begrenzt werde, und zweitens, dass ein vermehrtes Wachstum gleichbedeutend mit grösserer Kohlenstoffspeicherung in Form von Pflanzenmasse sei.*

Die erste Annahme ist leicht zu widerlegen. Kein Organismus besteht nur aus dem Element C (das wäre Diamant, Russ oder Graphit), sondern besteht aus grob 25 essentiellen chemischen Elementen. Ausser C, O und H stammen alle anderen aus dem Boden, auch der Stickstoff (N<sub>2</sub>), welcher zwar ursprünglich aus der Luft kommt, aber nur als Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Ammoniumstickstoff (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), oder als gelöster, organisch gebundener Stickstoff von Pflanzen aufgenommen werden kann. Diese Bodennähr-

<sup>1</sup> Prof. em. Dr. Christian Körner, Botanisches Institut, Universität Basel

stoffe sind erstens pro Landflächeneinheit endlich, zweitens herrscht um sie in freier Natur immer und seit je heftige Konkurrenz, und drittens genügt es, dass einer oder wenige nicht im Überschuss verfügbar sind, um das Wachstum zu begrenzen. Es wäre eine absurde Vorstellung anzunehmen, dass mit dem plötzlich vom Menschen in grossen Massen freigesetzten Kohlenstoff (als  $\text{CO}_2$ ) auch die verfügbaren Mengen an Phosphor, Kalium, Magnesium, Mangan usw. sich in den Böden proportional vermehren würden. Es leuchtet also ein, dass Kohlenstoff nur in dem Masse in einen Pflanzenkörper eingebaut werden kann, indem dies die Verfügbarkeit anderer chemischer Elemente gestattet. Der Kohlenstoffkreislauf unterliegt also dem Diktat des Mineralstoffkreislaufs. Daher ist es unzulässig, aus einer biochemischen Limitierung der photosynthetischen  $\text{CO}_2$ -Aufnahme auf eine Wachstumslimitierung durch  $\text{CO}_2$  zu schliessen. Nur wenn man künstlich (etwa durch Düngung) ein unbegrenztes Nährstoffangebot schafft, kann auch mehr  $\text{CO}_2$  eingebunden werden. Das gelingt in Nährlösung oder in Gewächshauskulturen, aber funktioniert schon am Acker kaum, es sei denn unter unökonomischer Bewirtschaftung mit sehr hohem Düngeraufwand. In freier Natur, vor allem in Wäldern, gibt es aus Gründen der Element-«Stöchiometrie» des Lebens keinen Spielraum für einen  $\text{CO}_2$ -Düngeeffekt.

Der zweite Punkt, die fälschliche Annahme einer vermehrten Kohlenstoffspeicherung, ist ebenso einsichtig, da er viel mit unserem Alltag zu tun hat. Es geht um die Verwechslung von Wachstum und Kohlenstoffvorrat. Wachstum ist ein Teil des Kohlenstoffumsatzes, vergleichbar dem Umsatz von Geld in der Wirtschaft; der Kohlenstoffvorrat ist hingegen vergleichbar mit dem Kapital in der Wirtschaft. Die Verwechslung von Umsatz mit Kapital führt bekanntlich zum Bankrott. Wenn also eine Pflanze wächst oder eben schneller wächst (warum auch immer), sagt uns das nichts darüber, wie gross im Durchschnitt aller Pflanzen (z.B. aller Bäume, die in der Landschaft stehen) der Vorrat an Biomasse-Kohlenstoff ist. Das ist mit dem Umsatz einer Firma vergleichbar, welcher nichts über ihre Kapitalisierung aussagt. Besonders rasch wüchsige Bäume, wie zum Beispiel in einer Pappel-Plantage, werden auch rasch geerntet oder erreichen die maximale Grösse und ihr Lebensende früher als langsamwüchsige Bäume. Für das Ausmass der Kohlenstoffspeicherung in der Landschaft ist somit nicht massgebend wie rasch der Kohlenstoff eingebaut wird, sondern wie lange er gebunden bleibt (Verweildauer). Alte, weniger rasch wachsende Wälder speichern viel Kohlenstoff, junge rasch wachsende enthalten wenig Kohlenstoff pro Landflächeneinheit. Als Faustregel gilt, je schneller die Wachstumsrate, desto geringer ist in der Regel der Vorrat. Die Annahme, eine Wachstumssteigerung durch  $\text{CO}_2$ -Düngung würde den Vorrat an Kohlenstoff im Wald erhöhen, ist also nicht nur von der Rate her falsch, sondern sogar von der Richtung. Der Holzvorrat in einem Wald wird von der Altersverteilung der Bäume bestimmt, also vom Anteil der unterschiedlichen Altersklassen (Demographie). Das hat nichts mit der biochemischen Leistung der Blattphotosynthese zu tun, sondern mit Lebenserwartung (Mortalität) oder Forstmanagement.

Möchte man herausfinden, ob  $\text{CO}_2$  nun tatsächlich (k)eine Wirkung auf das Baumwachstum (oder ganz allgemein das Pflanzenwachstum) in freier Natur hat,

muss man Pflanzen künstlich mit mehr CO<sub>2</sub> versorgen, ohne jedoch in den Boden einzugreifen, also ohne ihn umzugraben, Pflanzen zu versetzen oder gar zu düngen. Jeder dieser Eingriffe würde ja, zumindest kurzfristig, Bodennährstoffe mobilisieren oder bereitstellen und damit den Test auf C-Limitierung unmöglich machen. In Hofstetten bei Basel wurden mit Hilfe eines 50m hohen Baukranes erstmalig erwachsene Waldbäume in freier Natur in eine CO<sub>2</sub>-reiche Zukunft versetzt. (Abb. 1 und 2)

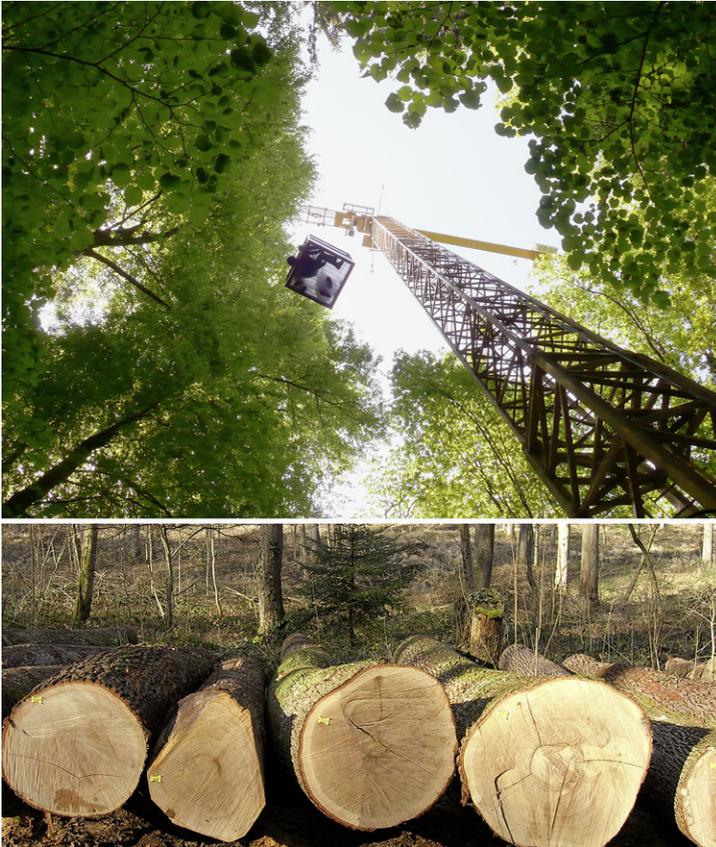


Abbildung 1: Ob unser Wald in CO<sub>2</sub>-reicher Luft mehr Kohlenstoff zu binden vermag, wird hier in Hofstetten bei Basel experimentell untersucht. Ein 50m hoher Kran bietet Zugang zu den Baumkronen, die mit CO<sub>2</sub> aus gereinigten Industrieabgasen über 8 Jahre quasi in die Zukunft versetzt wurden. Die Resultate zeigen keinen Wachstumseffekt, weil Pflanzen zum Wachsen eben nicht nur CO<sub>2</sub> sondern auch Bodennährstoffe brauchen, die sich (ausser bezüglich Stickstoff) nicht vermehrt haben. Solange ein Wald steht ist dort Kohlenstoff gebunden der sonst in der Atmosphäre wäre. Einmal abgeholzt, braucht es mehr als hundert Jahre bis der Vorrat wieder aufgebaut ist. Bei nachhaltiger Holznutzung können CO<sub>2</sub>-neutral Erdöl- oder Zement-basierte Bau- und Werkstoffe ersetzt oder fossiles Brennmaterial gespart werden. Das Substitutionspotential wird aber mengenmässig stark überschätzt. Es gibt keine «grüne» Lösungen des CO<sub>2</sub>-Problems.

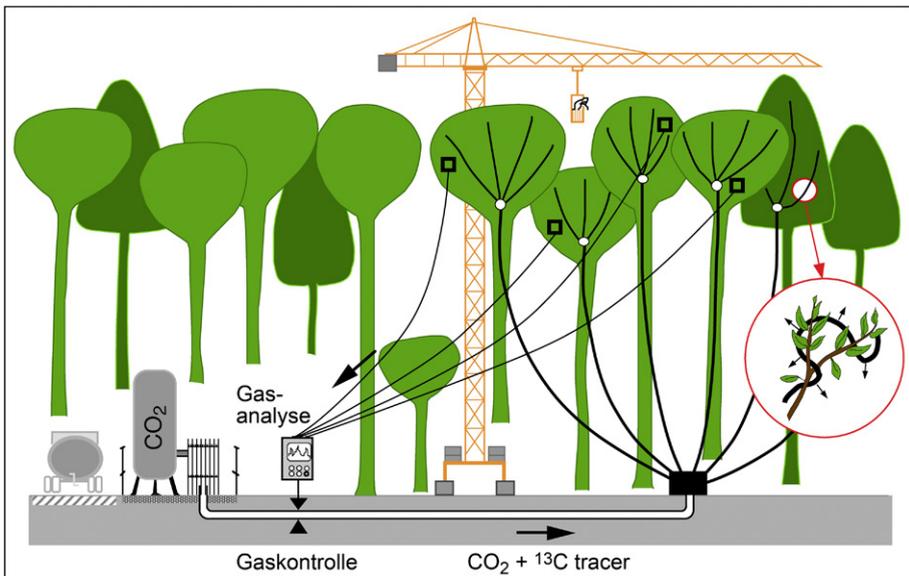


Abbildung 2: Erwachsene Bäume experimentell in eine CO<sub>2</sub>-reiche Zukunft zu versetzen ohne dabei das Klima in den Baumkronen zu beeinflussen ist eine grosse Herausforderung. Mit dem hier schematisch dargestellten, Computer-gesteuerten CO<sub>2</sub>-Anreicherungssystem und dem Kran gelang dies. Über kilometerlange poröse, in das Kronendach gewobene Schläuche wird in den Baumkronen CO<sub>2</sub>-reiche Luft erzeugt. Zahlreiche Messgasleitungen überwachen die Konzentration und helfen die CO<sub>2</sub>-Zufuhr zu dosieren.

Das Resultat: Weder Laub- noch Nadelbäume zeigten eine Wachstumssteigerung. Auch wenn das nach obigen Überlegungen plausibel ist, musste doch der empirische Beweis erbracht werden, da das Thema auch in der Wissenschaftsszene oft einseitig dargestellt wurde und damit politische Hoffnungen geschürt wurden, es gäbe einen CO<sub>2</sub>-Düngereffekt. Und selbst wenn es den gäbe, sagt so ein Effekt nichts über die Vorratsbildung im Wald aus. Leser die mehr zu diesem Thema erfahren möchten verweise ich auf die Literaturangaben.

Zum Schluss ein paar Überlegungen zur Frage, ob und in welchem Ausmass biologische Massnahmen wie Aufforstung oder Biomassenutzung helfen können, die CO<sub>2</sub>-Anreicherung in der Atmosphäre zu bremsen. Die Resultate sind sehr ernüchternd. Die derzeitige Freisetzung von CO<sub>2</sub>, auch in der Schweiz, übersteigt den Effekt jeglicher solcher Massnahmen derart, dass er zwar nicht null ist, aber nahe an der Grenze zur «Kosmetik» steht. Wald kann man bekanntlich auf einer gegebenen Fläche nur einmal aufforsten. Das geht in der heutigen Kulturlandschaft nur auf Kosten von Agrarflächen. Man kann zudem die Dichte (Bestockung) erhöhen, was darauf hinausläuft die Ernte zu verzögern, was auch Grenzen hat. Zudem sind ältere Wälder sturmanfälliger. Der Sturm Lothar legte etwa 3 Jahresernten der schweizerischen Forstwirtschaft in einer Stunde flach, gefolgt von weiteren Verlusten durch Borkenkäfer.

Auch bei der Biomassenutzung als Ersatz für fossile Quellen ist der Spielraum minimal. Es verbietet eigentlich der Anstand von einem Acker Diesel statt Nahrung zu holen. «Biofuels» von Schweizer Äckern würden mehr Nahrungsimporte aus dem Ausland bedeuten. Ohne Einbezug solcher Externalitäten sind solche Massnahmen unseriös, denn es gibt ja bekanntlich global gesehen keinen Nahrungsmittelüberschuss. Somit bleibt einzig die energetische Bewirtschaftung von Abfällen aus der Forst- und Holzwirtschaft und aus dem Agrar- und Lebensmittelbereich übrig. Sofern die in dieser Biomasse gebundenen Mineralstoffe wieder recycelt werden (z.B. als Asche, was pikanterweise im Wald verboten ist), könnten damit wenige Prozent an fossilen Energieträgern ersetzt werden (realistisch sind 1–3 %). Solche Einsparungen sind aber anderen Wirkungen, wie jene bei der Wahl und Nutzung von Fahrzeugen, der Raumtemperatureinstellung, der Gebäudesanierung und letztlich unserem Verhalten gegenüberzustellen. Es wird rasch klar, dass Bioenergie keine über lokale Ressourcen (z.B. diverse Formen der Holzheizung) hinausgehende Stellung im globalen Energiebedarf einnehmen kann, soll die Nutzung anerkannten Nachhaltigkeitskriterien entsprechen. Die wirksamste biologische Massnahme wäre die Verhinderung der Abholzung von natürlichen Wäldern. Selbst eine Wiederaufforstung hinterlässt bis zum Erreichen des ursprünglichen Vorrates in 100–200 Jahren eine CO<sub>2</sub>-Schuld. Der Bedarf am Rohstoff Holz sollte grundsätzlich und überall aus nachhaltiger Forstwirtschaft bezogen werden. Dabei wird jährlich nur so viel entnommen wie nachwächst.

## Literatur

- BADER M.K.-F., LEUZINGER S., KEEL S.G., SIEGWOLF R.T.W., HAGEDORN F., SCHLEPPI P., KÖRNER C., (2013): Central European hardwood trees in a high-CO<sub>2</sub> future: synthesis of an 8-year forest canopy CO<sub>2</sub> enrichment project. *J Ecol* 101:1509–1519
- FATICHI S., LEUZINGER S., KÖRNER C., (2014): Moving beyond photosynthesis: from carbon source to sink-driven vegetation modeling. *New Phytol* 201:1086–1095
- KÖRNER C., (2006): Plant CO<sub>2</sub> responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytol* 172:393–411
- KÖRNER C., (2009): Biologische Kohlenstoffsinken: Umsatz und Kapital nicht verwechseln! *GAI A* 4:288–293
- KÖRNER C., (2012): Angebot oder Nachfrage: Was steuert das Pflanzenwachstum? *Biologie in unserer Zeit* 42:239–243
- KÖRNER C., (2013): Growth controls photosynthesis – mostly. *Nova Acta Leopoldina* 391:273–283
- KÖRNER C., BADER M., (2010): *Der Wald in einer CO<sub>2</sub>-reichen Welt*. Lehrmittelverlag Kanton Solothurn, Solothurn
- SCHULZE E.D., KÖRNER C., (2012): Nettoprimärproduktion und Bioenergie. In: German National Academy of Sciences Leopoldina: Bioenergy – Chances and limits. Leopoldina, Halle (Saale) p. 90–101