

Erhöhtes CO₂-Angebot beeinflusst die Biodiversität

von Christian Körner, Basel

Vortrag, gehalten am 4.12.1996

Als Spurengas in der Atmosphäre mit nur 0,036 % (= 360 ppm) Anteil am Luftvolumen ist CO₂ heute zu einem Problemfaktor geworden. Als Folge der Verbrennung fossiler Energieträger wird die Rückkehr der Sonnenstrahlung in den Weltraum - ähnlich wie beim Dach eines Treibhauses - etwas gebremst. Es besteht die realistische Befürchtung, dass es auf der Erde relativ rasch um 2-3°C wärmer wird. Das kann unser Klimasystem beträchtlich durcheinander bringen, aber auch ohne Klimaveränderung nimmt CO₂ direkt Einfluss auf das Pflanzenleben.

Die heutige CO₂-Freisetzung ist gemessen an den für den globalen Kohlenstoffkreislauf maßgeblichen Kohlenstoffpools enorm (Abb. 1). Jährlich wird die Atmosphäre um rund 0,5% ihres Kohlenstoffvorrates reicher. Die Verdoppelung der gegenwärtigen atmosphärischen CO₂-Konzentration innerhalb der

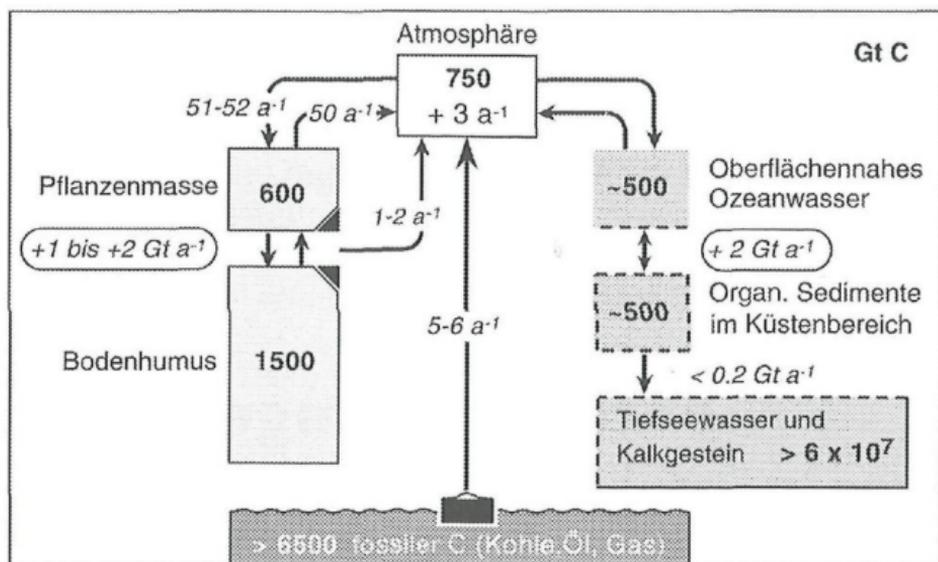


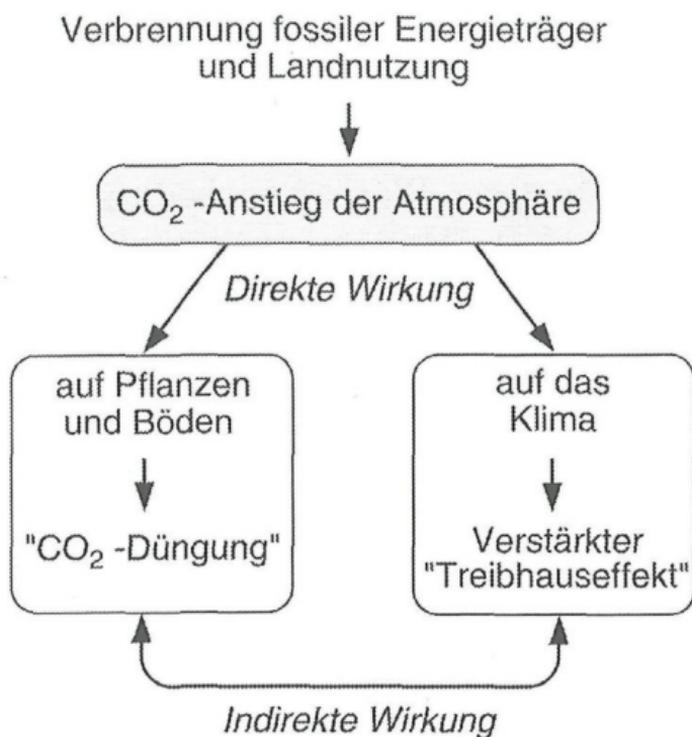
Abb. 1: Der globale Kohlenstoffkreislauf und die darin involvierten großen Kohlenstoffpools. Die Kohlenstoffvorräte im tiefen Ozean und in den Kalkgebirgen der Erde sind hier weggelassen, sie spielen über die hier betrachteten Zeiträume von wenigen Jahrhunderten keine wesentliche Rolle.

nächsten 100 Jahre ist so gut wie unausweichlich (vgl. die Zusammenfassung in KÖRNER 1995).

Bezüglich der Auswirkungen dieses Eingriffes in die Atmosphäre ist die öffentliche Diskussion ganz auf die möglichen Klimawirkungen ausgerichtet. Die direkte Wirkung von CO₂-Erhöhung auf Pflanzen ist aber ein ebenso gewichtiges, z.T. auch besser verstandenes Phänomen. CO₂-Anreicherung in der Luft hat also eine doppelte Wirkung, eine physikalisch-klimatologische und eine biologisch-ökologische (Abb. 2).

Die CO₂-Konzentration verändert das Pflanzenwachstum

Die Biologie interessiert sich also sehr dafür, welche unmittelbaren Konsequenzen die CO₂-Erhöhung



'Feedbacks' in allen Richtungen möglich

Abb. 2: Die doppelte Wirkung der CO₂-Erhöhung in der Atmosphäre. In der Öffentlichkeit ist zumeist nur die Klimawirkung bekannt. Die unmittelbare Wirkung auf den Stoffwechsel der Pflanzen ist jedoch viel besser erforscht und dokumentiert, und ist Gegenstand dieses Artikels.

auf Pflanzen und Ökosysteme hat. Da CO₂ das Schlüsselsubstrat für die pflanzliche Photosynthese darstellt, ändern sich die Lebensbedingungen für Pflanzen selbst dann, wenn wir einmal eine mögliche Erhöhung des Treibhauseffektes beiseite lassen. Seit 2,2 Mrd. Jahren wird mit der durch Sonnenenergie betriebenen Wasserspaltung in Pflanzenzellen Energie bereitgestellt, welche es den Pflanzen möglich macht, CO₂ zu binden und damit kohlenstoffhaltige Grundbausteine des Lebens zu erzeugen.

Getrocknete Pflanzenteile bestehen fast zur Hälfte ihres Gewichtes aus Kohlenstoff (chemisches Symbol ist C). Seit gut 200 Jahren ist bekannt, dass Pflanzen unter günstigen Wachstumsbedingungen einen ausgeprägten CO_2 -„Hunger“ entwickeln und ein vermehrtes CO_2 -Angebot gewissermaßen als „Dünger“ verwerten können. In der Gewächshauskultur macht man sich dies gewerbsmäßig seit fast 100 Jahren zunutze. Tomaten und anderes Gemüse, das aus Treibhauskultur auf unseren Tisch kommt, ist häufig mit CO_2 gedüngt. Dies geschieht meist durch Gasbrenner, die gleichzeitig Wärme und als Abfallprodukt CO_2 liefern. Kein Wunder, dass der rasante Anstieg der CO_2 -Konzentration in der Luft von gewissen Kreisen als Wohltat für die Biosphäre hingestellt wird, hat sich doch die Konzentration dieses Gases in der Luft seit Beginn der Industrialisierung um etwa ein Drittel erhöht! In der zweiten Hälfte des nächsten Jahrhunderts wird sich die Konzentration verdoppelt haben, eine Vorhersage, die nur durch einen globalen Wirtschaftskollaps ungeahnten Ausmaßes in Frage gestellt werden kann. Wie wird das Pflanzenkleid der Erde - ganz abgesehen von möglichen Klimaänderungen - auf diese neue Situation reagieren?

Wird die Vegetation mehr CO_2 binden?

Die Antwort ist deshalb sehr schwierig zu geben, weil ein derartiges Ereignis sich noch nie zugetragen hat und wir nicht aus Erfahrungswerten schöpfen können. Es gab zwar in erdgeschichtlichen Zeiten

beträchtliche Änderungen des CO_2 -Pegels. Das heutige Niveau wurde auch schon in der Kreidezeit vor über 100 Mio. Jahren erreicht. Es wird vermutet, dass in der tertiären Wärmezeit vor etwa 30 Mio. Jahren die CO_2 -Konzentration einmal auf Werte um 500 ppm anstieg, um in den Eiszeiten wieder auf Werte zwischen 180 und 280 ppm zu fallen. Alle diese Veränderungen verliefen jedoch wesentlich langsamer als heute. Fast die gesamte anthropogene CO_2 -Anreicherung in der Luft erfolgte innerhalb der 120-jährigen Lebensspanne eines Waldbaumes. Eine generelle Wachstumssteigerung von Waldbäumen hat sich jedoch abgesehen von einigen Regionen mit starkem Niederschlag von gelöstem Stickstoff nicht ergeben, was sich anhand der Jahrringe belegen lässt. Bäume sind ja in diesem Zusammenhang besonders interessant, da in ihnen mehr als 80 % des globalen, in Pflanzen gebundenen Kohlenstoffes steckt. Ganze Wälder passen leider nicht in Versuchseinrichtungen zur Simulation zukünftiger Bedingungen hinein. Daher stammt alles, was die experimentelle Forschung zu dieser Frage herausgefunden hat, von Studien an einzelnen Jungbäumen (meist Sämlingen) und aus dem Grasland. Die Resultate solcher Versuche machen deutlich, dass es stark von der Versorgung der Pflanzen mit Bodennährstoffen (z.B. Stickstoff und Phosphor) abhängt, ob CO_2 eine Düngewirkung hat oder nicht. Auf fruchtbaren Ackerböden tritt (wie bei Tomaten im Treibhaus) eine Wachstumsförderung von ca. 10-30% ein. In der ungedüngten Naturlandschaft ist der langfristige

Effekt hingegen meist deutlich geringer. Nachdem die letzteren Bedingungen weltweit vorherrschen, lassen diese Resultate vermuten, dass die Biosphäre uns nicht den "Gefallen" tun wird, das Abfallprodukt CO_2 in einem solchen Maße wieder einzufangen, dass die Erhöhung des Treibhauseffektes ausbleibt. Dies deckt sich auch mit der Beobachtung, wonach sich das vom Menschen produzierte CO_2 derzeit in der Atmosphäre anreichert und nur zu einem sehr kleinen Teil tatsächlich von der Biosphäre gebunden wird. Es ist somit nicht zu erwarten, dass die Vegetation der Erde die erwartete Verdoppelung der CO_2 -Konzentration und die damit möglicherweise verbundenen Klimaänderungen verhindern kann.

Ein maßvoller Umgang mit den biosphärischen Kohlenstoffreserven kann aber die Geschwindigkeit des CO_2 -Ausstoßes bremsen (z.B. die Erhaltung voll entwickelter Wälder). Der Ersatz von alten Waldbeständen durch Aufforstungen (und gemäß Kyoto-Protokoll deren gesellschaftliche Belohnung) ist weitgehend ein Selbstbetrug. Bis eine Neupflanzung den Kohlenstoffvorrat eines reifen Waldökosystems erreicht, vergehen weit über 100 Jahre. Auch eine maßvolle Bodennutzung kann dazu beitragen, dass die großen Kohlenstoffvorräte im Humus erhalten bleiben. Jede Intensivierung der Bodennutzung setzt C frei. Trotzdem ist die Aufforstung gerodeter Flächen natürlich positiv zu bewerten, das C-Bindopotential ist aber global, verglichen mit der Emission, bescheiden. Die Nutzung erneuerbarer Energie als Ersatz für fossile Energieträger wirkt sich auf die

CO₂-Gesamtsituation in jedem Fall positiv aus, aber die Mengen die dafür aus Biomasse bereitgestellt werden können sind recht bescheiden (in Mitteleuropa realistischerweise vermutlich <3%; KÖRNER 1996).

Einfluss veränderter Futterqualität auf die Biodiversität

Die Wahrscheinlichkeit, dass unter erhöhtem CO₂ längerfristig mehr Biomasse produziert wird, ist also eher gering. Was hingegen langfristig eher wahrscheinlich ist und die Forschergemeinschaft beunruhigt, ist die Tatsache, dass die globale Veränderung der Pflanzendiät (mehr CO₂ ohne gleichzeitige Vermehrung wichtiger Bodennährstoffe) die Qualität der Pflanzen beeinträchtigt. Egal, ob Pflanzen auf CO₂-Erhöhung mit Wachstumssteigerung reagieren oder nicht, ihre Blätter enthalten mehr Kohlenhydrate und weniger Eiweiß, wenn der CO₂-Gehalt der Luft erhöht ist. Für eine Kuh bedeutet das z.B. 120 statt 100 Grasbüschel abreißen zu müssen, um die gleiche Proteinmenge aufzunehmen. Dasselbe gilt natürlich für alle Lebewesen, die sich von Pflanzenblättern ernähren. Nachdem die Zusammensetzung der Vegetation und ihr Erscheinungsbild in den verschiedenen Lebensräumen der Erde enorm von pflanzenfressenden Tieren - auch wenn sie oft sehr unscheinbar sind - beeinflusst wird, ist es offensichtlich, dass die Veränderungen der Futterqualität für die Biodiversität gravierende Folgen haben dürfte. Von einer Arbeitsgruppe in Deutschland wurde übrigens nachgewiesen, dass auch der

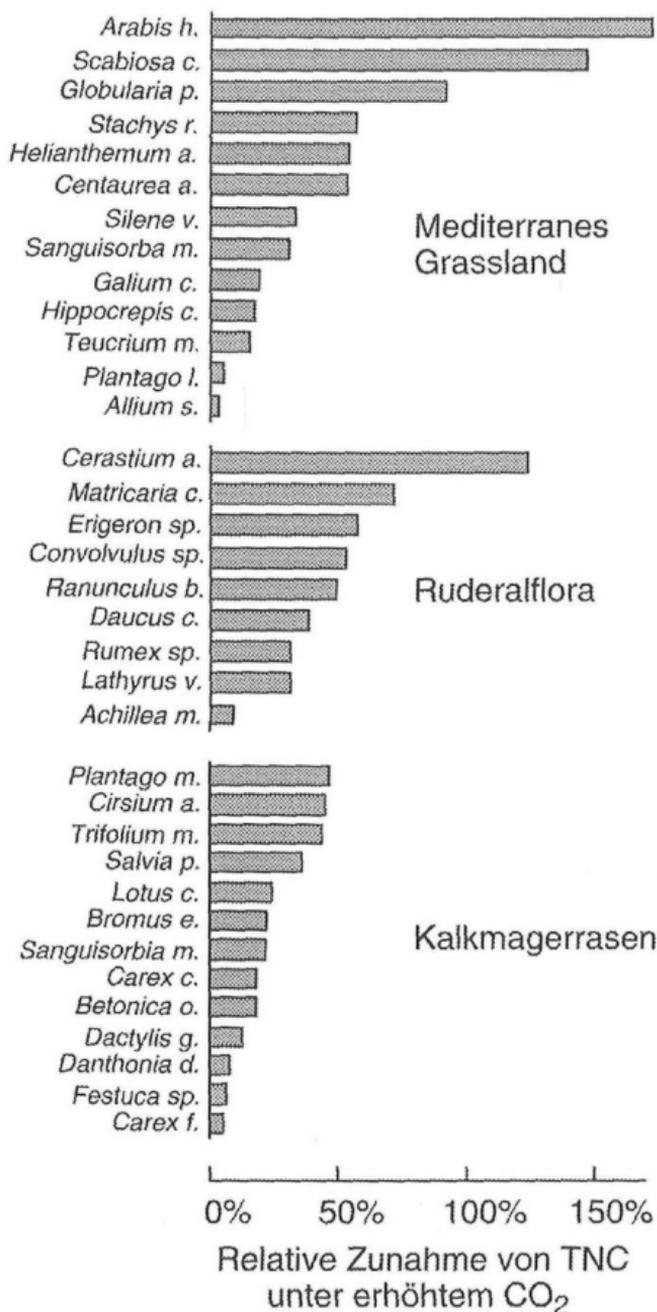


Abb. 3: Vermehrtes Kohlendioxidangebot in der Luft erzeugt Pflanzen, die mehr Kohlenhydrate und weniger Eiweiß enthalten. Die Abbildung zeigt, dass jede Pflanzenart anders reagiert; TNC = Summe der nicht-struketurgebundenen Kohlenhydrate (z.T. unveröffentlichte Daten von D. OBRIST und Ch. KÖRNER sowie von einer Studie an mediterranen, natürlichen CO₂-Quellen, KÖRNER & MIGLIETTA 1994).

Eiweißgehalt und damit die Backfähigkeit des Brotweizens unter erhöhtem Kohlendioxid zurückgeht (HÖGY *et al.* 1998).

Nach allem was wir wissen, ist eine identische Reaktion aller Pflanzen nicht zu erwarten (Abb. 3). Im Gegenteil, das Einzige, was wir mit Sicherheit sagen können, ist, dass Pflanzen auf CO₂-Erhöhung nicht gleich reagieren, womit die Wettbewerbssituation in Pflanzenbeständen verändert wird. Allerdings gibt es bis heute keine Theorie, mit der vorhergesagt werden könnte, welche der 500 Pflanzenarten auf einem Hektar tropischen Regenwaldes zu den Gewinnern und welche zu den Verlierern gehören werden. Dies gilt auch für Grasland- Artengemeinschaften bei uns.

Auf einem sehr artenreichen Rasen im Jura laufen derzeit vom Schweizerischen Nationalfonds geförderte Forschungsarbeiten zu dieser Frage (Abb. 4). Eine wichtige Botschaft daraus ist, dass das Verhalten natürlicher Pflanzengesellschaften gegenüber CO₂ nicht aus Versuchen mit isolierten Einzelpflanzen unter Gewächshausbedingungen vorhergesagt werden kann. Es gibt - neben einer Reihe von Experimenten auf Agrarland - weltweit nur fünf derartige Untersuchungen über das Wachstumsverhalten von ganzen Pflanzenbeständen unter erhöhtem CO₂, bei denen sich Pflanzen den Platz auf dem sie wachsen selbst ausgesucht hatten. In allen anderen Fällen wurden ortsfremde Pflanzen eingesät oder Mixturen künstlich angepflanzt. Untersuchungsergebnisse für natürliche Vegetation, die



Abb. 4: Transparente Abgrenzungen halten eine "Wolke" von Luft mit erhöhtem CO_2 in Ausschnitten natürlicher Bestände von Kalkmagerrasen im NW-Schweizer Jura. Eine Modellstudie über die Wirkungen von erhöhtem CO_2 -Angebot auf die Biodiversität.

durchwegs sehr geringe oder keine Wachstumssteigerung zeigen, gibt es aus der Tundra von Alaska, aus den Schweizer Alpen, aus dem mediterranen Grasland Kaliforniens, der Prärie von Kansas und von einem Kalktrockenrasen im Schweizer Jura (siehe die Übersicht in KÖRNER & HÄTTENSCHWILER 1998). Beim Letzteren handelt es sich um das komplexeste dieser Projekte, und es kann als Modellfall für die Entwicklung hochdiverser Lebensgemeinschaften unter erhöhtem CO_2 angesehen werden. Von fünf verschiedenen Arbeitsgruppen der Universität Basel und Zürich werden Wachstum und Vermehrung, sowie die Reaktion mikrobieller und tierischer "Konsumenten" studiert. Schon die ersten

zwei Jahre waren voller Überraschungen. Es gehörten nicht wie erwartet die Schmetterlingsblütler, die sich mit ihren Knöllchenbakterien selbst Stickstoff (als Basis der Eiweiß-Synthese) beschaffen können, zu den Gewinnern, sondern es war ein unscheinbares Sauergras, das massiv zulegte (*Carex flacca*) wenn statt 360 ppm 600 ppm CO₂ angeboten wurden. Andere Arten, wie etwa der seltene Germanische Enzian, wurden zurückgedrängt (FISCHER *et al.* 1997). Es gibt also Gewinner und Verlierer bei diesem Spiel. Der Zucker- und der Aminosäuregehalt des Blütennektars änderten sich bei einigen Pflanzenarten, wobei Männchen und Weibchen bei bestimmten Schmetterlingsarten auf solche Veränderungen unterschiedlich reagierten (ERHARDT & RUSTERHOLZ 1997). Bodenpilze, sogenannte Mykorrhizen, die den Pflanzen üblicherweise bei der Beschaffung von Nährsalzen behilflich sind, wurden bei einer bestimmten Pflanzenart unter erhöhtem CO₂ noch "hilfreicher", bei einer anderen wurden sie sogar "parasitisch" (SANDERS 1996). Diese Beispiele zeigen, wie subtil die Einwirkungen einer veränderten atmosphärischen Zusammensetzung auf die Gemeinschaft von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen sein können, ohne dass von außen gesehen große Veränderungen feststellbar sind. CO₂-Erhöhung beeinflusst die Biodiversität (KÖRNER & BAZZAZ 1996). Wer sich über dieses Projekt umfassend informieren möchte, findet eine gesamte Ausgabe der Zeitschrift Gaia (Heft 4, 1995) diesem Thema gewidmet.

Genetische Vielfalt begünstigt die Evolution

Veränderungen der Biodiversität, Verdrängungsprozesse in Artengemeinschaften und Artenverlust, wie sie durch die enorm rasche CO_2 -Anreicherung in der Luft wahrscheinlich werden, betreffen alle, auch die entlegendsten Teile der Erde, weit ab der Verursacher dieser Veränderungen. Anders als bei der üblichen Luftverschmutzung gibt es also keine regionale Massierung dieses Phänomens. Veränderungen der Vielfalt treffen den Lebensnerv von Ökosystemen. Vielfalt, das heißt die mehrfache (redundante) Besetzung ähnlicher "Arbeitsplätze" im Stoffkreislauf der Natur, stellt deren Versicherungssystem dar. Genetische Vielfalt garantiert, dass unter Extrembedingungen noch genügend "Agitatoren" übrig bleiben, die das Überleben einer Art und das Fortschreiten der Evolution sichern. Das Tempo der heutigen Umweltveränderungen übersteigt jenes der Evolution bei weitem. Die ungebremste Nutzung der wertvollen und endlichen Ressource fossiler Energieträger ist somit auch von dieser Warte äußerst fragwürdig, jedenfalls kurzsichtig.

Eine große experimentelle Herausforderung für die Forschung

Die bisherigen Forschungsergebnisse stellen die Forschung auch methodisch vor völlig neue Probleme. Die Erkenntnis, dass man zu Fragen wie etwa der CO_2 -Wirkung auf Pflanzen und Ökosysteme keine brauchbaren Antworten erhält, wenn man die Pflanzen von ihrer Lebensquelle, dem Boden, entkoppelt

und in Blumentöpfen zieht, bedeutet eine enorme Erhöhung des experimentellen Aufwandes. Diese Forschung ist um ein Vielfaches teurer, zeitraubender und auch aufgrund der äußeren Störungen viel unsicherer als die im "behüteten" Milieu eines Gewächshauses. Wir müssen heute leider feststellen, dass es häufig keine Alternative gibt, Forschungsfragen, die die zukünftige Entwicklung der Biosphäre unter veränderten Umweltbedingungen betrifft, dort zu bearbeiten, wo das Leben tatsächlich stattfindet. Den jüngsten Beweis dafür stellt ein Forschungsprojekt an der Schweizerischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft dar (LANDOLT *et al.* 1997). Hier, in der Nähe von Birnensdorf bei Zürich wurden in großen, oben offenen Kammern Modellökosysteme von Fichte und Buche in 1 m tiefen Natursubstraten von zwei Standorten über vier Jahre aufgezogen und gleichzeitig erhöhtem Kohlendioxid und erhöhtem Stickstoffeintrag ausgesetzt (Abb. 5). Das Einmalige an diesem Experiment war, dass gleichzeitig die Wirkung von Umweltveränderungen an Pflanzen getestet wurden, die in zwei verschiedenen Bodentypen aufwuchsen: einem kalkhaltigen und einem sauren Boden. Sämtliche Resultate dieses Großprojektes, von der Mikrobiologie bis zur Pflanzenphysiologie und Forstökologie zeigten übereinstimmend, dass der Bodentyp das Ausmaß und zum Teil sogar die Richtung sämtlicher Reaktionen auf CO₂-Erhöhung und Stickstoffeintrag bestimmte. Was bedeuten angesichts solcher Resultate derartige Untersuchungen, wenn sie auf nur einem Bodentyp durchgeführt werden?

Ein ganz analoges Beispiel, in dem ebenfalls Bodenqualität im Zentrum steht, ist die Reaktion von Schmetterlingsblütlern auf Kohlendioxid. Wie oben dargelegt, ergab sich eine riesige Diskrepanz zwischen sämtlichen Versuchsergebnissen, in denen Klee unter künstlichen, nährstoffreichen Bedingungen hoher CO_2 -Konzentration ausgesetzt wurde und der Reaktion auf ungedüngtem Natursubstrat im Freiland. Inzwischen hat sich geklärt, wie dieser



Abb. 5: Große, oben offene Versuchskammern in der Nähe von Zürich ermöglichen das Studium von CO_2 -Wirkungen auf Modell-Ökosysteme von Fichten-Buchenjungwuchs in natürlichem Bodensubstrat und unter Konkurrenz.



Unterschied zustande kommt. Schmetterlingsblütler brauchen enorm viel Phosphat um ihren Vorteil der symbiontischen Stickstofffixierung auszuspielen zu können. In allen früheren Experimenten wurden Schmetterlingsblütler in phosphatgesättigten Kultursubstraten aufgezogen. In dem Moment, wo der Phosphatüberschuss wegfällt, verschwindet auch die CO_2 -Reaktion. Man kann quasi mit dem "Phosphatstellknopf" die CO_2 -Reaktion vorausprogrammieren (STÖCKLIN *et al.* 1998).

Diese Beispiele zeigen, dass die zukünftige Forschung sich nicht der Komplexität der natürlichen Prozesse in einem Ökosystem entziehen kann. Die Folgen der CO_2 -Erhöhung auf die Biodiversität sind nur in diesem Kontext fassbar.

Literaturverzeichnis

- ERHARDT A. & RUSTERHOLZ H.P. 1997: Effects of elevated CO_2 on flowering phenology and nectar production. *Acta Oecologica* 18:249-253
- FISCHER M., DIETHART M. & SCHMID B. 1997: Responses of rare calcareous grassland plants to elevated CO_2 : a field experiment with *Gentianella germanica* and *Gentiana cruciata*. *Journal of Ecology* 85:681-691
- HÖGY P., FANGMEIER A. & JÄGER H.J. 1998: Effekte erhöhter CO_2 -Konzentrationen und Stickstoffversorgung auf Korn-ertrag und Kornqualität von Sommerweizen (*Triticum aestivum* cv. Minaret). *Verhandl Ges Oekol* 28:381-388
- KÖRNER Ch. 1995: Biodiversity and CO_2 : Global change is under way. *GAIA* 4:234-243
- KÖRNER Ch. 1996: Die biotische Komponente im Energiehaushalt: Lokale und globale Aspekte. *Verh Ges Dt Naturf und Aerzte*, 119:97-123

- KÖRNER Ch. & HÄTTENSCHWILER S. 1998: Die Alpen und das CO₂ Problem. Biologische Perspektiven. vdf, Zürich
- KÖRNER CH. & MIGLIETTA F. 1994: Long term effects of naturally elevated CO₂ on mediterranean grassland and forest trees. *Oecologia* 99:343-351
- KÖRNER CH. & BAZZAZ F.A. 1996: Carbon dioxide, populations, and communities. Academic Press, San Diego, New York, Boston
- LANDOLT W., BUCHER J.B., SCHULIN R., KÖRNER C. & BRUNOLD C. 1997: Effects of elevated CO₂ concentration and N deposition on spruce-beech model ecosystem In: MOHREN G.M.J. *et al* (eds) Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems. Kluwer Academic Publishers 317-324
- SANDERS I.R. 1996: Plant-fungal interactions in a CO₂-rich world. In: KÖRNER CH. & BAZZAZ F.A. (eds): Carbon dioxide, populations, and communities. Academic Press, San Diego, New York, Boston 265-272
- STÖCKLIN J., SCHWEIZER K. & KÖRNER CH. 1998: Effects of elevated CO₂ and phosphorous addition on productivity and community composition of intact monoliths from calcareous grassland. *Oecologia* 116:50-56

Dieser Beitrag ist ein erweiterter Nachdruck eines Artikels, der 1996 in Forum Nummer 1 der PAX-Versicherungen für ein breites Schweizer Publikum geschrieben wurde (mit freundlicher Genehmigung der PAX-Versicherungen).

Anschrift des Verfassers:

Christian Körner
Botanisches Institut
Universität Basel
Schönbeinstr. 6
CH-4056 Basel

e-mail: koerner@ubaclu.unibas.ch

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [137_140](#)

Autor(en)/Author(s): Körner Christian

Artikel/Article: [Erhöhtes CO2-Angebot beeinflusst die](#)

Biodiversität. 47-62