

Der Freiland-CO₂-Versuch mit Wiesen-Ökosystemen

Herbert BLUM, Marco FREHNER, Ueli HARTWIG, Thomas HEBEISEN, Andreas LÜSCHER und Josef NÖSBERGER, Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich

In einem dreijährigen Feldversuch werden an der Versuchsstation Eschikon/Lindau die Effekte erhöhter CO₂-Konzentration auf Wiesenökosysteme untersucht. Es ergeben sich zum Teil beträchtliche Ertragszunahmen und Verschiebungen der botanischen Zusammensetzung. Besonders stark reagieren Leguminosen. Erwartet werden auch eine erhöhte biologische Stickstoff-Fixierung von Weissklee sowie Auswirkungen auf die Bodenorganismen.

Der Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration (Kohlendioxid) hat in den letzten Jahren auch in der Öffentlichkeit viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Er wird hauptsächlich durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe, das heisst von Öl, Gas und Kohle, sowie durch das Abholzen von Wäldern, vorwiegend in den Tropen, verursacht.

Das CO₂ in der Atmosphäre ist eine Voraussetzung für die Photosynthese der Pflanzen und damit für alles Leben auf der Erde. Die Pflanzen entnehmen der Luft CO₂ und bilden mit Wasser, das durch die Wurzeln aufgenommen wird und mit Hilfe des Sonnenlichts Kohlenhydrate, die für das Wachstum und alle anderen Lebensprozesse der Pflanzen gebraucht werden. Es ist lange bekannt, dass das Pflanzenwachstum durch erhöhtes CO₂ gefördert wird. Die Art und das Ausmass dieser Wachstumszunahme hängen jedoch von der Pflanzenart und den Wachstumsbedingungen ab. In Pflanzenbeständen, die aus mehreren Arten bestehen, wie zum Beispiel in Wiesen, könnten bei erhöhter CO₂-Konzentration somit Veränderungen in der botanischen Zusammensetzung auftreten, weil eine Art oder einige Arten mehr profitieren und damit die anderen Arten zurückdrängen oder gar verdrängen könnten. Weltweit und ganz besonders in der Schweiz bedecken Wiesen den weitest grossen Teil der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche. CO₂-bedingte Veränderungen in Wiesen wären somit von grosser wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung. Es sind jedoch nicht nur Veränderungen in der Pflanzendecke zu erwarten, sondern auch und vielleicht in besonderem Masse im Boden, das heisst in der Bodenfruchtbarkeit. Ausserdem ver-

dunsten die Pflanzen bei erhöhtem CO₂ weniger Wasser, somit könnte ein grösserer Anteil des Niederschlages für den oberirdischen Abfluss oder für die Versickerung zur Verfügung stehen. Dies könnte sowohl positive (z.B. mehr Grundwasser für die Wasserversorgung, mehr Wasser für die Elektrizitätserzeugung) als auch unerwünschte Auswirkungen zeitigen (z.B. mehr Erosion). Bei Trockenheit dürfte zudem der Wasservorrat im Boden für ein grösseres Pflanzenwachstum ausreichen.

Die bisherigen Untersuchungen wurden fast ausschliesslich an Einzelpflanzen unter Laborbedingungen vorgenommen. Die vereinzelt an Kleinparzel-

len von Wiesen in klimatisierten Mini-Gewächshäusern zeigten teilweise beträchtliche Verschiebungen der Artenanteile, aber die Kammereffekte lassen sich nicht genau abschätzen, so dass die Resultate nicht ohne weiteres auf Freilandbedingungen übertragen werden können.

Mit unserem Projekt wollen wir weltweit erstmals die CO₂-bedingten Veränderungen des Wachstums von Wiesenpflanzen sowie deren Ursachen und Auswirkungen unter echten Freilandbedingungen untersuchen. Es geht uns dabei um die Frage, wie sich der auch in Zukunft zu erwartende CO₂-Anstieg auf die Pflanzen und die Böden in Wiesen auswirken wird. Die Wirkung von CO₂ ist zudem abhängig vom Nährstoffangebot. Deshalb werden sowohl Parzellen mit guter als auch solche mit geringer Nährstoffversorgung (420 resp. 100 kg N/ha und Jahr) in die Untersuchungen einbezogen. Möglicherweise ist das erhöhte Assimilateangebot bei höherer CO₂-Konzentration vor allem zu

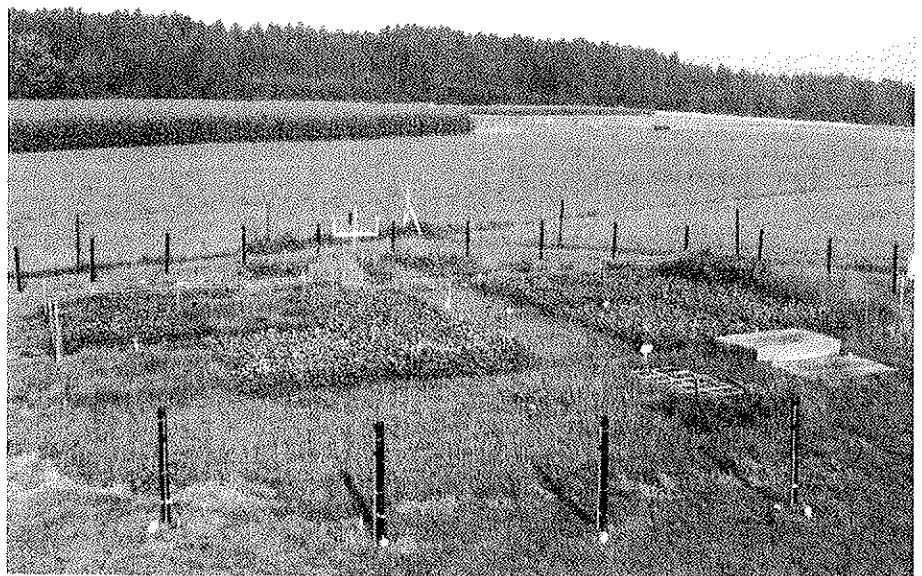


Abb. 1. Ansicht einer begasten Fläche. Das ringförmige Verteilerrohr ist unterirdisch verlegt und deshalb nicht sichtbar. Durch Öffnungen in den vertikalen Rohren tritt mit CO₂ angereicherte Luft gegen das Innere der eingeschlossenen Fläche aus. Im Vordergrund sind einige Gras- und Weissklee-Parzellen sichtbar.

Beginn eines Aufwuchses wirksam. Zudem können auch Unterschiede der Kohlenhydratereserven den Wiederaustritt mitbeeinflussen. Die Wachstums- und Konkurrenzbedingungen werden stark durch die Dauer der einzelnen Aufwüchse beeinflusst. Deshalb werden zwei Schnittverfahren durchgeführt mit vier respektive 6 - 7 Schnitten pro Jahr. Wir hoffen durch das Studium der Prozesse, die diese Veränderungen bewirken, Einsichten zu gewinnen, die auch auf andere Ökosysteme übertragen werden können. Am Projekt beteiligen sich mehrere in- und ausländische Forschungsgruppen. Von schweizerischer Seite sind ausserdem beteiligt:

Prof. Dr. M. Aragno, Universität Neuenburg

Prof. Dr. R. Strasser, Universität Genf

Dr. F. Jäggi, Forschungsanstalt Zürich-Reckenholz

Dr. J. Fuhrer, Forschungsanstalt Liebefeld-Bern

Im Vordergrund des Interesses stehen folgende Teilaspekte der CO₂-bedingten Veränderungen:

Forschungsziele

• das Pflanzenwachstum im Spross- und Wurzelbereich, insbesondere Veränderungen der Konkurrenzmechanismen, wodurch die Artenanteile beeinflusst werden könnten. Diese Studien werden mit Monokulturen und Mischungen von englischem Raigras und Weissklee durchgeführt.

• die Kohlenhydrateverteilung in den Pflanzen als wichtige physiologische Grundlage für das veränderte Wachstum.

• die biologische Stickstoff-Fixierung in den Wurzelknöllchen von Weissklee. Es ist zu erwarten, dass der Weissklee bei erhöhtem CO₂ mehr Stickstoff fixiert und auch den anderen Arten mehr davon zur Verfügung stellt. Dies würde nicht nur das Pflanzenwachstum verbessern, sondern könnte auch Auswirkungen auf die Bodenorganismen haben.

• die genetische Variabilität der CO₂ Effekte, untersucht anhand der Biomasseproduktion von 12 Arten und 10 - 14 Genotypen jeder Art. Dadurch wird die Basis der oben erwähnten Untersuchungen verbreitert.

• der Wasserhaushalt des Bodens und der Wasserverbrauch der Pflanzen. Diese Grössen beeinflussen das Pflanzenwachstum sowie die Grundwasserbildung

und den Abfluss von Fließgewässern.

• die Aktivität von Bodenorganismen und der Abbau von organischer Substanz im Boden. Dieser Bereich beeinflusst die Bodenfruchtbarkeit, zum Beispiel durch die Nährstofffreisetzung oder durch die Beeinflussung der Populationen und Aktivitäten von Organismen, die bei der Nährstoffversorgung eine Rolle spielen (Bakterien, Mykorrhizen), aber auch den Kohlenstoff-Kreislauf des Ökosystems. Das erhöhte Pflanzenwachstum führt zu meist auch zu einer Zunahme des Wurzelwachstums und dies bedeutet, dass möglicherweise ein beträchtlicher Teil des von den Pflanzen aufgenommenen Kohlenstoffs als organische Substanz im Boden gespeichert wird. Dadurch wird vermutlich der Anstieg des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre vermindert. Die Bodenorganismen setzen diesen Kohlenstoff allmählich wieder frei, Veränderungen der Aktivität dieser Organismen würden sich somit unmittelbar auf den CO₂-Anstieg der Atmosphäre auswirken. Diese Fragen sind heute noch weitgehend ungeklärt, und es besteht ein grosser Bedarf nach gesicherten Daten. Die Krümelstabilität und die Nährstofffreisetzung sind für die Bodenfruchtbarkeit von zentraler Bedeutung.

Das hier nur kurz skizzierte Projekt soll es uns und unseren Partnern erlauben, alle diese Fragen am selben Ökosystem zu untersuchen. Dies ist ein beträchtlicher Vorteil gegenüber Einzeluntersuchungen im Labor und eine unerlässliche Voraussetzung für realistische Prognosen. Wir arbeiten ausserdem mit internationalen Forschungsprogrammen zusammen, wie zum Beispiel dem «International Geosphere-Biosphere Programme» (IGBP). Die untersuchten Fragen sind von grosser Aktualität und Bedeutung nicht nur für die Wissenschaft, sondern auch als Grundlagen für anstehende, politische Entscheide. Die Versuchspartzen wurden im Sommer 1992 gesät. Die CO₂-Begasung konnte Ende Mai 1993 in Betrieb genommen werden. Der Versuch soll vorerst drei Jahre dauern, wir hoffen jedoch, einen weiteren Versuch anschliessen zu können.

Begasungstechnik

Im Projekt wird eine vom Brookhaven National Laboratory, New York, neu entwickelte Freiland-Begasungstechnik verwendet (Free Air Carbon-dioxide Enrichment = FACE), bei der keine Kammern

oder Folien verwendet werden. Diese amerikanische Forschungsinstitution beteiligt sich in diesem Versuch mit beträchtlichen eigenen Mitteln. Die Begasungseinrichtung besteht aus einem ringförmigen Rohr von 18 m Durchmesser, in das ein Ventilator mit CO₂ angereicherte Luft bläst. Diese strömt durch kurze vertikale Rohre, die mit Ventilen am Ring befestigt werden, gegen das Innere des Ringes aus (vgl. Abbildung 1). Der Wind sorgt für die Verteilung des CO₂ über die Versuchsfläche im Inneren des Ringes. Eine Computersteuerung betätigt diese Ventile und sorgt dadurch für eine möglichst gleichbleibende CO₂-Konzentration im Ring. Im Projekt in Eschikon/Lindau sind drei solche Ringe vorgesehen und ausserdem drei gleich grosse Vergleichsflächen ohne CO₂-Freisetzung, die aber sonst gleich behandelt und untersucht werden. Um eine gegenseitige Beeinflussung durch das freigesetzte CO₂ zu vermeiden, wurden die Versuchsflächen jeweils mindestens 100 m von jeder anderen angelegt. Die CO₂-Freisetzung erfolgt ausschliesslich am Tag.

Der CO₂-Bedarf auf den drei Ringen beträgt jährlich zirka 500 t. Die CO₂-Konzentration auf den begasten Flächen wird auf 600 ppm eingestellt, in der Atmosphäre beträgt er heute ca. 350 ppm. (600 ppm heisst: der Volumenanteil des CO₂ in der Luft beträgt 600 Millionstel oder 0,06 %). Zum Vergleich sei erwähnt, dass in einem geschlossenen und bewohnten Raum Spitzenwerte von 1000 bis 2000 ppm gemessen werden, weil der Mensch bekanntlich CO₂ ausatmet. In solchen Konzentrationen ist CO₂ jedoch unschädlich. Obwohl die jährlich freigesetzte CO₂-Menge von ungefähr 500 Tonnen verschwindend klein ist im Vergleich zu den etwa durch den Verkehr in der Schweiz freigesetzten Mengen, so könnte doch Besorgnis aufkommen über die zusätzliche Freisetzung von CO₂. Dazu ist anzumerken, dass das hier verwendete CO₂ nicht für diese Zwecke produziert wird, sondern es fällt bei einem industriellen Prozess, sozusagen als «Abfallprodukt» an. Ein Teil dieses ansonsten am Produktionsort in die Atmosphäre entlassenen CO₂ wird nun aufgefangen, in verflüssigtem Zustand nach Eschikon gebracht und hier freigesetzt. Es entsteht somit keine zusätzliche «Belastung» der Atmosphäre mit CO₂.

Das CO₂ wird in einem Tank von zirka 21 m³ Inhalt, auf dem Gelände der Versuchsstation gelagert. Der Tank wird re-

gelmässig von einem Tankfahrzeug aufgefüllt. Die laufend benötigte Menge CO₂ wird aus dem Tank durch eine Reihe von atmosphärischen Verdampfern geleitet, die neben dem Tank montiert werden. Diese entziehen der Luft Wärme, um das flüssige CO₂ in CO₂-Gas umzuwandeln. Anschliessend wird dieses durch ein im Boden verlegtes Rohr von 10 cm Durchmesser zu den Versuchsflächen geleitet.

Die Begasung verändert Artenzusammensetzung

Bisher wurden erst wenige der erhobenen Daten ausgewertet. Die Tabelle zeigt typische Erntedaten des Verfahrens mit vier Schnitten pro Jahr.

Das spezifische Blattgewicht (Blattgewicht/Blattfläche) war im Raigras erhöht, im Weissklee unverändert. Der Ertrag von Raigras wurde durch CO₂ nicht signifikant erhöht, allerdings waren die Erträge im 420 kg N-Verfahren immer höher als die Kontrolle, so dass die statistische Auswertung für das ganze Jahr möglicherweise gesicherte Unterschiede ergeben wird. Die gesamte Biomasseproduktion kann erst bestimmt werden, wenn die Wurzelmasse gemessen ist. Vorläufige Daten lassen eine Zunahme des Wurzelwachstums unter erhöhtem CO₂ erwarten. Die Zunahme der oberirdischen TS scheint beim Gras durch eine Einlagerung von Kohlenhydraten in den Blättern zu erfolgen, ohne signifikante Vergrösserung der Blattfläche.

Der Ertrag von Weissklee nahm bei beiden N-Verfahren um ungefähr 20 % zu. Dieser erhöhte Ertrag kommt durch eine höhere Blattfläche zustande.

Die Mischungen reagierten am stärksten, mit 25 bis 30 % Ertragssteigerung. Der Weisskleeanteil nahm dabei in beiden Stickstoff-Verfahren deutlich zu. Ähnlich verhalten sich auch die Sechs-Schnitt-Verfahren, aber mit etwas tieferen Weisskleeanteilen.

Die verschiedenen Arten im Genotypen-Vergleich reagierten sehr unterschiedlich, aber die genotypischen Unterschiede innerhalb der Arten waren nicht gesichert. Besonders gross waren die CO₂-Effekte bei den Kleearten.

Aufgrund dieser ersten Ergebnisse lassen sich für die Zukunft Verschiebungen in den Artenanteilen in Wiesen vorhersagen. Besonders die Leguminosen dürften eine noch gewichtigere Rolle spielen als heute, nicht nur weil ihr Anteil zunehmen könnte, sondern auch weil sie offenbar den Gesamtertrag besonders stark steigern.

Tab. 1. Trockensubstanz und Standardfehler in g/m², Schnitthöhe 5 cm, vom Vier-Schnitt-Verfahren. Wachstumsperiode 29. Juni bis 17. August 1993

CO ₂ (ppm) N (kg/ha)	350 100	600 100	350 420	600 420
Englisches Raigras	148,8 8,5	167,7 31,8	346,6 4,4	356,3 19,7
Weissklee	290,4 12,8	358,7 31,9	312,1 2,6	368,3 21,0
Mischung	337,0 10,2	415,8 18,6	357,0 24,3	454,5 19,1
Weissklee Anteil (%)	60,8 3,3	82,5 4,4	26,3 10,4	43,6 16,8
BFI ¹ Weissklee	3,9 0,6	5,1 1,0	3,8 1,0	5,0 0,9

¹BFI: Blattflächen-Index (Blattfläche pro Einheit Grundfläche)

Die weiteren Untersuchungen werden zeigen, inwiefern dies eine Folge der biologischen Stickstoff-Fixierung des Weisskleees ist.

Es stellt sich auch die Frage, was mit den Assimilaten geschieht, deren Produktion auch in den Gras-Reinbeständen nachweislich stark gestiegen ist. Wir vermuten, dass neben der Wurzelmasse auch die Wurzel Ausscheidungen beträchtlich zunehmen. Weitere Untersuchungen sollen zeigen, ob sich dadurch die Populationen der Boden-Mikroorganismen verändern werden.

DANK

Diese Untersuchungen konnten dank einem Kredit des Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) aufgenommen werden, wofür wir bestens danken. Ein weiterer namhafter Beitrag wurde vom Schweizerischen Nationalfonds geleistet.

RÉSUMÉ

Expérience CO₂ dans le terrain d'écosystèmes de cultures fourragères

Une expérience en champ de trois ans est décrite dans laquelle on étudie l'effet d'une augmentation du CO₂ sur des écosystèmes de cultures fourragères. Des parcelles de raygras anglais, de trèfle blanc et de leur mélange sont combinées avec deux traitements N (100 et 420 kg ha⁻¹ par année) et deux régimes de coupe (quatre et six à sept coupes). Les résultats préliminaires de la première année d'essai avec une concentration en CO₂ de 600 ppm sont les suivants: le rendement du raygras anglais n'a que peu ou pas augmenté. Le rendement du

trèfle blanc a augmenté de 20 %, celui des mélanges de 25 à 30 %. La proportion de trèfle blanc a considérablement augmenté. Des différences significatives sont apparues dans la réponse de 12 espèces de plantes fourragères. Les légumineuses pourraient devenir plus importantes dans des conditions riches en CO₂.

SUMMARY

CO₂ field experiment on grassland ecosystems

A three-year field experiment to study the effects of enhanced CO₂ on managed grassland ecosystems is described. Plots of perennial raygrass, white clover and their mixture are combined with two N treatments (100 and 420 kg ha⁻¹ y⁻¹, respectively) and two cutting treatments (four and six to seven cuts y⁻¹, respectively).

Preliminary results from the first year, at a CO₂ concentration of 600 ppm are: The yield of perennial raygrass was not or only slightly increased. The yield of white clover increased by 20 %, that of the mixtures by 25 to 30 %. White clover proportion raised considerably. The responses of 12 grassland species differed significantly. Legumes may become more important under high CO₂ conditions.

KEY WORDS: ecosystems, CO₂ grass, legumes, genotypes, yield, floristic composition.