

## Wirkung erhöhten CO<sub>2</sub>-Angebotes, der Phosphat- und Wasserverfügbarkeit auf Gasaustausch und Wachstum von Monterey-Kiefern (*Pinus radiata*)

Manfred Küppers, Jann P. Conroy und E.W.R. Barlow

### Synopsis

Seedlings of *Pinus radiata* D. Don were grown in growth chambers for 22 weeks at CO<sub>2</sub> concentrations of either 330 or 660 mm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup> with two levels of phosphorus (P) under either well-watered or water-stressed conditions. At harvest (30 weeks from germination), net photosynthesis, biomass parameters and whole-plant water-use efficiency (WUE) were measured. At unlimited P- and water supply high CO<sub>2</sub> increased net photosynthesis and growth, whereas at P-limitation WUE was strongly reduced at all watering frequencies independent of CO<sub>2</sub>. Assuming that seedlings did not differ in their response from plants grown in the field it can be concluded that - at short but just not limiting P and water availability - the present global rise in atmospheric CO<sub>2</sub> will lead to an initially enhanced growth. As a consequence the demand for P and H<sub>2</sub>O will rise so that these resources may become limited, especially in areas surrounding deserts. In the long term this may lead to a spreading of deserts.

*Atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Gehalt, interzelluläres CO<sub>2</sub>, Pinus radiata, Phosphor, Photosynthese, Transpiration, Wälder in Trockengebieten, Wasserstress, water-use efficiency*

### 1. Einführung

Der globale Anstieg von CO<sub>2</sub> (von zur Zeit 1,5 mm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup> a<sup>-1</sup>; in Stadtnähe von Osnabrück beispielsweise 4,5 mm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup> a<sup>-1</sup>, OVERDIECK 1991) wird voraussichtlich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zu einer Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Troposphäre führen (GATES 1983). Er wirft die Frage auf, wie CO<sub>2</sub>-Akquisition, Transpiration und Wachstum von forstlich interessanten Bäumen reagieren, insbesondere wenn Wasser und Nährsalze nur begrenzt zur Verfügung stehen, also unter Bedingungen der Wüstenrandgebiete. Wir sind dieser Fragestellung an der kalifornischen Monterey-Kiefer nachgegangen, einer Baumart, die unter anderem in Australien in großen Beständen aufgeforstet wird.

### 2. Material und Methoden

#### - Anzuchtbedingungen

Jeweils drei Keimlinge von *Pinus radiata* pro 1 dm<sup>3</sup> Pflanztopf wurden aus Samen in 950 g Boden zunächst im Gewächshaus unter einheitlichen Bedingungen angezogen (detaillierte Angaben bei CONROY & al. 1986, 1988). Bewässerung erfolgte jeweils bis zur Feldkapazität. Die Keimlinge wurden 5 Wochen nach Keimung mit den Töpfen in Anzucht-kammern übertragen, dort sofort mit unterschiedlichem P-Angebot pro Topf aber sonst unveränderten Nährsalzen gedüngt (Tab. 1) und ab der achten Woche sowohl in unterschiedlich hohem CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft (330 bzw. 660 mm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup>) und bei unterschiedlicher Bewässerungshäufigkeit bis zur Ernte in der 30. Woche weiter kultiviert. Bei niedrigster Bewässerungshäufigkeit war jeweils am Ende des Austrocknungszyklus der permanente Welkepunkt (-1,5 MPa) erreicht. In den zwei Anzucht-kammern für unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Begasung lagen tagsüber für 16 h 450 μmol Photonen m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (gemessen an der Sproßspitze) bei 25°C und 18 Pa kPa<sup>-1</sup> Wasserdampf-Konzentrationsgradient vor, während nachts für 8 h 18°C bei unverändertem Taupunkt eingestellt waren.

#### - Messung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Luft und des Nadel-Gasaustausches

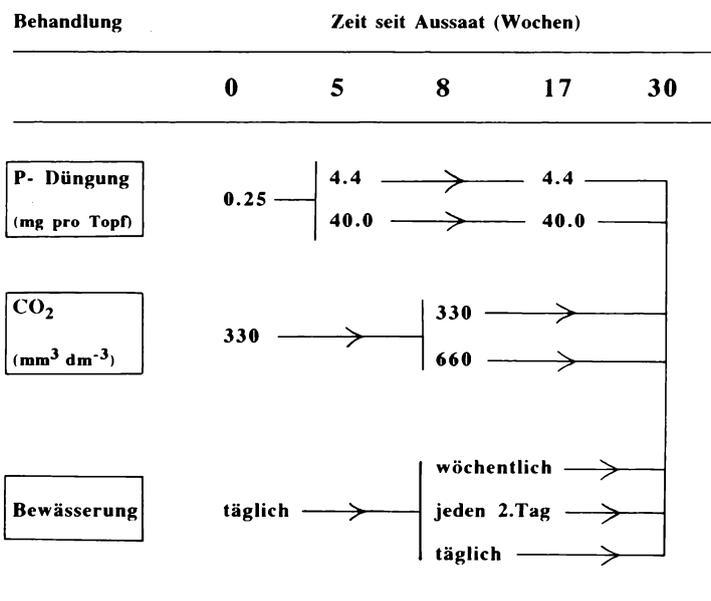
Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft in den Anzucht-kammern wurde kontinuierlich über Infrarot- Gasanalysatoren gemessen (URAS, Hartmann & Braun, Frankfurt/M). Sämtliche Parameter des Nadel-Gasaustausches (Nettphotosynthese (A), Nadel-Leitfähigkeit für Wasserdampf (g) und interzelluläre CO<sub>2</sub>-Konzentration (c<sub>i</sub>) wurden über das von KÜPPERS & al. (1987) detailliert beschriebene Gaswechsel-Meßsystem bestimmt.

#### - Wuchsparameter, Kronen-Leitfähigkeit und Wassernutzungseffizienz

Am Tag der Ernte wurde das Trockengewicht (ober- und unterirdische Biomasse) und die gesamte Nadeloberfläche (über geometrische Verfahren, CONROY & al. 1988) der Pflanzen bestimmt. Die Wassernutzungseffi-

izienz ("water-use efficiency" = WUE) der Gesamtpflanze folgte aus dem Verhältnis von Trockenmassezunahme (ab der 8. Woche) zum akkumulierten Transpirationswasser ( $E_{\text{akk}}$ ).  $E_{\text{akk}}$  ließ sich durch regelmäßige Wägung als Differenz zwischen Töpfen mit und ohne Pflanzen ermitteln. In der letzten Woche vor der Ernte wurde die Kronen-Leitfähigkeit aus dem Verhältnis der gravimetrischen Transpirationsmessung zum Wasserdampfkonzentrationgradienten ermittelt und auf die gesamte Nadeloberfläche des Sprosses bezogen.

**Tab. 1:** Schematische Zeittafel der Anzuchtbedingungen und ihrer Änderungen.



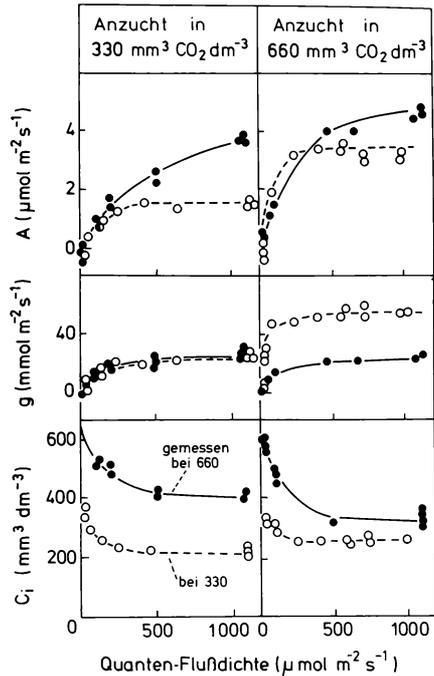
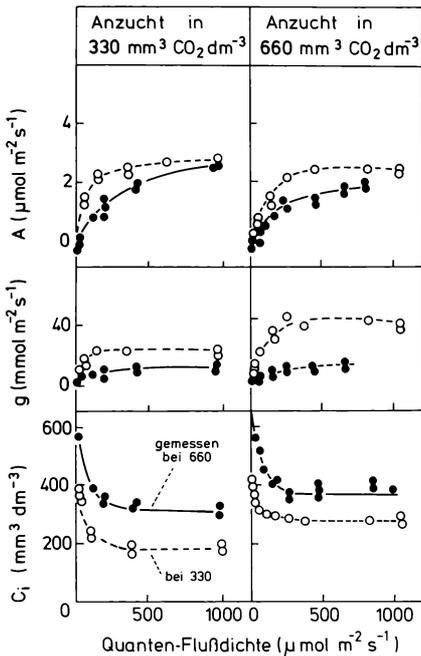
### 3. Ergebnisse und Diskussion

Unterschiedliche P-Düngung hatte unterschiedliche P-Gehalte in den Nadeln zur Folge: Bei ausreichendem P-Angebot wurden 1,0-1,5 mg g<sup>-1</sup> Phosphat und bei limitiertem Angebot 0,7-0,8 mg g<sup>-1</sup> in der Trockensubstanz ermittelt. Diese Unterschiede wirkten sich deutlich auf den Gasaustausch, das Wachstum und die WUE aus: Abbildung 1 stellt "steady-state"-Lichtkurven von A, c<sub>i</sub> und g dar. Ausnahmslos führt eine Erhöhung des atmosphärischen CO<sub>2</sub> zu einem deutlichen Anstieg von c<sub>i</sub>. Aber nur bei ausreichendem P-Angebot resultiert hieraus auch eine Erhöhung von A (Abb. 1b), während P-Limitierung vermutlich Regenerationsprozesse des Calvin-Cyclus besonders in hohem CO<sub>2</sub> behindert und A sogar absinken läßt (Abb. 1a). Der Photosynthese-Apparat kann sich nur bei ausreichendem P an langfristig erhöhtes CO<sub>2</sub> akklimatisieren (Abb. 1b). Stomata verhalten sich unabhängig vom P-Angebot in allen Fällen ähnlich.

Ist die Wasserverfügbarkeit limitiert, wirken sich weder P-Düngung noch erhöhtes CO<sub>2</sub> auf die Entwicklung der Gesamt-Nadeloberfläche des Sprosses aus, während bei häufiger Bewässerung zwar höheres P-Angebot aber nicht das CO<sub>2</sub>-Angebot die Gesamtoberfläche vergrößert (CONROY & al. 1988); zu einem ähnlichen Ergebnis bezüglich einer CO<sub>2</sub>-Wirkung auf die Kronenoberfläche bei sonst unlimitiertem Nährsalzangebot kommt auch OVERDIECK (mündlich). Somit nehmen P- und Wassermangel entscheidenden Einfluß auf die CO<sub>2</sub>-Effekte, entweder über die CO<sub>2</sub>-Assimilationsraten oder die Vergrößerung der Gesamt-Nadeloberfläche.

Das aus diesen Teilaspekten resultierende Wachstum ist in Abbildung 2 dargestellt: Bei ausreichendem P-Angebot fördern sowohl günstige Bewässerung als auch höheres CO<sub>2</sub> signifikant das Wachstum, während bei P-Limitierung CO<sub>2</sub> keinen Einfluß nimmt und die Bewässerung sich nur dann auswirkt, wenn H<sub>2</sub>O sehr knapp gehalten wird. Ökologisch brisant ist der Effekt der P-Versorgung auf die Kronen-Leitfähigkeit für Wasserdampf (G): Ist P limitiert, steigt G signifikant und unabhängig vom CO<sub>2</sub>-Angebot an. Dieses Verhalten resultiert aus einer erhöhten Kronen-Transpiration, mit der die Pflanze ihren Wasserdurchsatz erhöht und vermutlich ver-

sucht, das limitierende und nur sehr gering mobile P aus dem wurzelnahen Raum verstärkt aufzunehmen. Als Folge hiervon sinkt die WUE selbst bei hohem CO<sub>2</sub>-Angebot signifikant um 30% ab (Abb. 2).

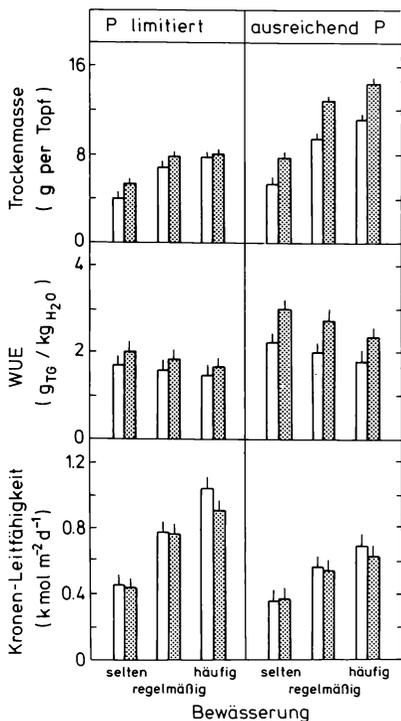


**Abb. 1a:** Die Lichtabhängigkeit von Netto-photosynthese (A), Blatteleitfähigkeit (g) und berechneter interzellulärer CO<sub>2</sub>-Konzentration bei niedrigem P-Gehalt der Nadeln, gemessen entweder in normaler Luft (330 mm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> dm<sup>-3</sup>, offene Symbole) oder in Luft doppelter CO<sub>2</sub>-Konzentration (660 mm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup>, geschlossene Symbole), jeweils für eine Pflanze, die unter normaler Luft (links) oder unter doppeltem CO<sub>2</sub>-Gehalt (rechts) angezogen wurde. Nadeltemperatur 22°C, Wasserdampf-Konzentrationsdifferenz 15 Pa kPa<sup>-1</sup>.

**Abb. 1b:** wie Abbildung 1a, jedoch bei hohem P-Gehalt der Nadeln.

#### 4. Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, daß eine Erhöhung atmosphärischen CO<sub>2</sub> nicht in jedem Fall zu einer Förderung der WUE und des Wachstums führt, sondern nur dann, wenn Nährsalze ausreichend vorhanden sind. Dieser Umstand ist in vielen Modellansätzen über die Auswirkungen des globalen CO<sub>2</sub>-Anstieges nicht berücksichtigt. Unter der Voraussetzung, daß unsere Ergebnisse auf das Verhalten (auch von anderen Bäumen) im Freiland übertragbar sind, kann sogar ein gegenteiliger Effekt erwartet werden: In Gebieten mit zwar knapper, aber anfänglich ausreichender P- und H<sub>2</sub>O-Verfügbarkeit, wie sie in Wüstenrandgebieten vorliegen, wird ansteigendes CO<sub>2</sub> vorübergehend das Wachstum fördern. Der wachstumsbedingt erhöhte Bedarf an Wasser und Nährsalzen wird sowohl individuen- wie flächenbezogen zu einer fortschreitenden Verknappung dieser Ressourcen führen, bis schließlich eine Limitierung eintritt. P-Limitierung aber steigert den Wasserbedarf relativ zum Wachstum, so daß trotz hohem atmosphärischem CO<sub>2</sub> die WUE sinkt. In Wüstenrandgebieten könnte dies zu einer Ausdehnung von Wüsten beitragen.



**Abb. 2:** Trockenmasse (Sproß- und Wurzelbiomasse) zum Zeitpunkt der Ernte, "water-use efficiency" (WUE) der Gesamtpflanze über den Zeitraum ab der 8. Woche bis zur Ernte und Kronen-Leitfähigkeit kurz vor der Ernte der Kiefern-Keimlinge aus den verschiedenen Anzuchtbedingungen. Schraffierte Säulen: Anzucht unter  $660 \text{ mm}^3 \text{ CO}_2 \text{ dm}^{-3}$ ; offene Säulen: Anzucht unter  $330 \text{ mm}^3 \text{ CO}_2 \text{ dm}^{-3}$ . P limitiert:  $0,7 - 0,8 \text{ mg P g}_{\text{TM}}^{-1}$ , ausreichend P:  $1,0 - 1,5 \text{ mg g}^{-1}$ . Der Bodenwassergehalt wurde entweder täglich (häufig), jeden zweiten Tag (regelmäßig) oder wöchentlich (selten) auf Feldkapazität erhöht. Mittelwerte aus 5 Parallelproben, Fehlerbalken: LSD ( $p \leq 0,05$ ).

## Literatur

- CONROY, J.P., SMILLIE, R.M., KÜPPERS, M. BEVEGE, D.I. & E.W.R. BARLOW, 1986: Chlorophyll *a* fluorescence and photosynthetic and growth responses of *Pinus radiata* to phosphorus deficiency, drought stress, and high  $\text{CO}_2$ . - *Plant Physiol.* 8: 423-429.
- CONROY, J.P., KÜPPERS, M., KÜPPERS, B., VIRGONA, J. & E.W.R. BARLOW, 1988: The influence of  $\text{CO}_2$  enrichment, phosphorus deficiency and water stress on the growth, conductance and water use of *Pinus radiata* D. Don. - *Plant, Cell Environ.* 11: 91-98.
- GATES, D.M., 1983: An overview. - In: LEMON, E.R. (ed.): *CO<sub>2</sub> and plants: The response of plants to rising levels of atmospheric carbon dioxide.* - Westview Press, Boulder, Colorado: 7-20.
- KÜPPERS, M., SWAN, A.G., TOMPKINS, D., GABRIEL, W.C.L., KÜPPERS, B.I.L. & S. LINDER, 1987: A field portable system for the measurement of gas exchange of leaves under natural and controlled conditions: examples with field-grown *Eucalyptus pauciflora* Sieb. ex Spreng. ssp. *pauciflora*, *E. behriana* F. Muell. and *Pinus radiata* D. Don. - *Plant, Cell Environ.* 10: 425-435.
- OVERDIECK, D., 1991: Direkte Wirkungen der atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Anreicherung auf die einheimische Vegetation (Pflanzengemeinschaften des Grünlandes und der Wälder). - *Verh. Ges. Ökol.* 19/3: 243-263.

## Adressen

- PD Dr. Manfred Küppers, Institut für Botanik, TH Darmstadt, Schnittpahnstraße 10, D-W-6100 Darmstadt, und CSIRO, Division of Forest Research, GPO Box 4008, Canberra City ACT 2600, Australia
- Dr. Jann P. Conroy, Faculty of Horticulture, University of Western Sydney, Hawkesbury, NSW 2753, Australia
- Dr. E.W.R. Barlow, School of Biological Sciences, Macquarie University, NSW 2109, Australia.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: [22\\_1993](#)

Autor(en)/Author(s): Küppers Manfred, Barlow E. W. R., Conroy Jann P.

Artikel/Article: [Wirkung erhöhten \( \$\gamma\$ -Angebotes, der Phosphat- und Wasserverfügbarkeit auf Gasaustausch und Wachstum von Monterey-Kiefern \(\*Pinus radiata\*\) 419-422](#)