

# **Landschaftsentwicklung und Umweltforschung**

**-Schriftenreihe der Fakultät VII**

**Architektur Umwelt Gesellschaft-**

**Nr. 119**

**Auswirkungen globaler Klimaänderungen auf das  
Wachstum und den Gaswechsel (CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) von  
Rotbuchenbeständen (*Fagus sylvatica* L.)**

**Manfred Forstreuter**

**Berlin 2002**

**Technische Universität Berlin**

**Anschrift des Autors:**

**Priv.-Doz. Dr. Manfred Forstreuter**  
**Technische Universität Berlin**  
**- Institut für Ökologie -**  
**Fachgebiet Landschaftsökologie**  
**Königin-Luise-Str. 22**  
**14195 Berlin**  
[m.forstreuter@tu-berlin.de](mailto:m.forstreuter@tu-berlin.de)

**ISSN 0173-0495**

**ISBN 3 7983 1910 3**

**Vertrieb: [Publkationen@ub.tu-berlin.de](mailto:Publkationen@ub.tu-berlin.de)**

# Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die direkten Auswirkungen einer erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration auf das Wachstum und den Gaswechsel (CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in drei Versuchsreihen untersucht. Die Rotbuche wurde aufgrund ihrer Bedeutung und ihres Vorkommens in der gemäßigten Zone Europas ausgewählt. Mit Hilfe der Mikrokosmos-Technik wurden "Modell-Ökosysteme" geschaffen, die auf Dauer einer atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration von 350 bzw. 700  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub> ausgesetzt waren. In diesen "Modell-Ökosystemen" wurden neben Kurzzeituntersuchungen an Einzelpflanzen Langzeitversuche (bis hin zu 6 Jahren) unter nahezu natürlichen Umweltbedingungen auf der Bestandesebene unternommen. Diese experimentelle Herangehensweise ermöglichte es, Umweltfaktoren wie Temperatur, Strahlung (PPFD), Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit, ebenso wie inter- und intraspezifisches Konkurrenzverhalten der Buche im Kronen- und im Bodenraum in die Untersuchungen einzubeziehen. Ergebnisse von Einzelblattmessungen konnten direkt integriert und mit Messungen des gesamten Kronendaches verglichen werden. Messungen im Kronenraum von adulten Buchenbeständen dienten dem Vergleich zu den Mikrokosmen.

Zur Simulation des Gaswechsels in Buchenbeständen wurde ein mechanistischer Ansatz verfolgt, mit dem die ökophysiologischen Teilprozesse in einem Bestandesgaswechselmodell FORSTFLUX abgebildet werden konnten. Dieses mechanistische Modell FORSTFLUX wurde mit Hilfe der aus der Mikrokosmos-Technik gewonnenen Parametersätze an juvenilen und adulten Buchenbeständen auf der Bestandesebene parameterisiert und validiert. In verschiedenen Simulationsläufen wurden die CO<sub>2</sub>-Effekte auf den Gaswechsel von Forst-(Wald)-Ökosystemen bei veränderten Umweltbedingungen quantifiziert.

Die kontinuierliche Messreihe der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration am Standort Berlin-Dahlem ergab einen signifikanten jährlichen Anstieg von 4.7  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub> um 1.3% pro Jahr seit 1992.

Bei erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentration war das Wachstum der Rotbuche signifikant zwischen 31% und 81% gefördert, wobei nach dreijähriger Versuchsdauer die höchste und nach sechsjähriger Dauer die niedrigste Biomassenzunahme zu verzeichnen war. Im Trend konnte anfangs ein starker CO<sub>2</sub>-Effekt auf das Wachstum beobachtet werden, der sich im Laufe des Experimentes abschwächte. Die ontogenetische Entwicklung der Buche verlief bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration schneller als bei Kontrollpflanzen normaler CO<sub>2</sub>-Konzentration. Die Biomassenallokation der Buchenpflanzen war zu gleichen Zeitpunkten signifikant verschieden, jedoch waren die Allokationsmuster der Biomasse bei gleich großen Buchenpflanzen der verschiedenen CO<sub>2</sub>-Wachstumskonzentrationen identisch. Die Gesamtstickstoffaufnahme war bei erhöh-

ter CO<sub>2</sub>-Konzentration um bis zu 40% gesteigert. In den Beständen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration war die Wurzeldichte generell höher, wobei die Feinwurzelmasse um 84% zunahm.

Durchschnittlich wurden zwischen 73% und 77% des Blattstickstoffs während der Laubverfärbung aus den Blättern transloziert, wobei die Stickstoffgehalte der Laubstreu bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration bezogen auf die Blattmasse bzw. die Blattfläche im Vergleich signifikant um 21% bzw. 17% geringer waren. Die Laubstreu des Modell-Ökosystems wies bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration im Trend geringere Abbauraten auf.

Aus den vorliegenden Untersuchungen wurde eine Nettoprimärproduktion der juvenilen Buchenbestände von 0.81 kg m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> bei der derzeit aktuellen atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration ermittelt. Bei der annähernd doppelten CO<sub>2</sub>-Konzentration stieg die NPP um 46% auf 1.18 kg m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> an.

Bei erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentration waren der Blattflächenindex und die Blattflächenverteilung innerhalb des Kronenraumes bei ausreichender Nährstoff- und guter Wasserverfügbarkeit verändert. Nach drei- bzw. vierjährigem Wachstum bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration nahmen die Blattflächenindices der juvenilen Buchenbestände zwischen 48% und 62% zu. Bei verringerter Nährstoff- und guter Wasserverfügbarkeit war dieser CO<sub>2</sub>-Effekt nicht nachweisbar.

Aus den phänologischen Untersuchungen an der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) war kein direkter Einfluss einer erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration auf den Austriebstermin und auf den Termin des Laubfalles nachweisbar. Mit steigender Temperatur jedoch war der Termin der Blattentfaltung linear verschoben. Bei einem mittleren Temperaturanstieg um 1°C war ein um 2 Tage früherer Beginn des Laubaustriebes und ein um bis zu 4 Tage verspäteter Termin des Laubfalles zu beobachten.

Die Langzeituntersuchungen an der Buche ergaben Steigerungen der Nettophotosyntheseraten ( $A_n$ ) der Blätter bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration um durchschnittlich 50% - 80%. Die Variabilität der Nettophotosyntheseraten war auf Unterschiede in den Stickstoffgehalten der Blätter zurückzuführen. Auch wirkte sich die unterschiedliche Struktur des Kronenraumes der Bestände auf die Nettophotosyntheseraten der einzelnen Blätter aus.

Die Photosyntheseparameter  $J_{max}$  und  $V_{cmax}$  wiesen in allen Versuchsjahren und über alle Altersstufen eine artspezifische Abhängigkeit zum Blattstickstoffgehalt auf, die unbeeinflusst von der CO<sub>2</sub>-Wachstumskonzentration war. Für die Buche wurden  $J_{max}$ -Werte von 52.2 (350) bzw. 51.2 (700)  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  und  $V_{cmax}$ -Werte von 33.5 (350) bzw. 31.7 (700)  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bei 25°C bestimmt, wobei  $V_{cmax}$  und  $J_{max}$  zueinander in einem festen Verhältnis von 0.62-0.64 standen, das durch veränderte Umweltbedingungen unbeeinflusst blieb.

Eine Abnahme der RuBisCO-Aktivität bzw. des RuBisCO-Gehaltes ("down-regulation") konnte in dieser Langzeitstudie bei ausreichender Nährstoffversorgung nicht bestätigt werden. Bei einem Blattstickstoffgehalt von 1 g N m<sup>-2</sup> waren die  $V_{cmax}$ -Werte mit 31.7±6.1 bei 350  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub> und mit 32.4±6.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bei 700  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub> nahezu identisch. Die Stickstoff-Nutzungs-Effizienz (NUE, nitrogen use efficiency) war somit bei beiden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen gleich groß. Die Kohlenhydratgehalte (TNC-Gehalte) der Buchenblätter bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration waren zwar signifikant um 30 bzw. 35% erhöht, jedoch blieben die Nettophotosyntheseraten davon unbeeinflusst.

Die Nettophotosyntheseraten fielen bei erhöhtem CO<sub>2</sub>-Angebot und mit zunehmender Temperatur deutlich größer aus. Bei normaler CO<sub>2</sub>-Konzentration lag das Temperaturoptimum von

$A_n$  im Bereich um 27.7 bis 29.1 °C. Bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde das Temperaturoptimum von  $A_n$  erst bei einer höheren Temperatur (um 1-2°C) erreicht.

Die Temperaturoptima der Photosyntheseparameter lagen nach Wachstum bei 350 und 700  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub> für  $J_{max}$  bei 31.1°C bzw. 31.0°C und für  $V_{cmax}$  bei 33.2 bzw. 34.4 °C. Sie wiesen zwischen beiden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen keine signifikanten Unterschiede auf.

Die Atmungsraten der Blätter, des Stammes sowie der Feinwurzeln unterschieden sich hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Wachstumskonzentrationen nicht signifikant. Der im Temperaturbereich von 10 bis 20°C ermittelte Q<sub>10</sub>-Wert betrug für die Buchenblätter 2.3 und für den Stamm 1.75.

Die Bodenatmungsraten in den Modell-Ökosystemen (Q<sub>10</sub>=2.1) waren bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration signifikant um 34% gesteigert. Diese Unterschiede waren auf die vermehrte Bildung von Feinwurzelmasse zurückzuführen ( $R_d$  Boden [ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] = 0.0027 \* FWM [g] + 2.02).

Bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration waren die nicht-strukturegebundenen Kohlenhydrate (TNC) der Quellen-Organen (Blätter) bezogen auf die Blattmasse signifikant gesteigert. In den Senkenorganen (Spross, Wurzel) trat dieser CO<sub>2</sub>-Effekt auf die TNC-Gehalte nicht auf. Die Konzentration der TNC war in den Senkenorganen (Spross, Wurzel) unabhängig von der CO<sub>2</sub>-Konzentration und nahm proportional mit der Biomasse zu. Die TNC-Gehalte machten insgesamt 7.4% der Trockenmasse aus.

Die Ligningehalte in Blättern und Wurzeln unterschieden sich in den CO<sub>2</sub>-Begasungsstufen nicht signifikant. In den Sprossachsen konnte dagegen eine signifikante Abnahme des Ligningehaltes nach Wachstum unter erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration festgestellt werden.

Die stomatäre Leitfähigkeit sank bei erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentration gegenüber 350  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub> signifikant um durchschnittlich 27%. Kontrollmessungen in juvenilen und adulten Beständen zeigten keine Unterschiede in der Verringerung der stomatären Leitfähigkeit. Eine Akklimatisation der stomatären Leitfähigkeit an eine langfristig erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration konnte nicht festgestellt werden.

Die Wassernutzungs-Effizienz (WUE) war bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration signifikant gesteigert. Bei ausreichender Wasserversorgung nahm der LAI in den Buchenbeständen unter erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration signifikant zu. Somit waren die Bilanzen des Wasserhaushaltes aufgrund des erhöhten LAI für die Bestände bei 350 und 700  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  CO<sub>2</sub> nahezu ausgeglichen.

Die Simulationsläufe des FORSTFLUX-Modells, die Veränderungen der Bestandesstruktur berücksichtigten, zeigten, dass die NEF (net ecosystem CO<sub>2</sub> flux) der Buchen-Modell-Ökosysteme nach Wachstum bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Jahresbilanz von 20.0 auf 23.4 mol m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> um 17% gegenüber dem Kontrollbestand anstieg, während die Evapotranspiration (ET) nahezu ausgeglichen war. Die Nettophotosynthese der Buchen-Modell-Ökosysteme stieg hierbei um 35% von 87.1 auf 118.8 mol m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> an. Dieser gesteigerte Gewinn wurde aufgrund der erhöhten Atmungsraten nahezu kompensiert. Die größte Rolle spielte dabei die Bodenatmung mit einem Anstieg von 58.4 auf 78.5 mol m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> um 34%, wodurch sie sich als größte CO<sub>2</sub>-Quelle erwies.

Eine erhöhte Umgebungstemperatur (+2°C bzw. +4°C) führte im Modell in der Jahresbilanz zu einer verringerten NEF (-58% bzw. -139%) und gesteigerten ET (11% bzw. 23%) der Buchenbestände. Eine erhöhte Stickstoffverfügbarkeit (+25%, +50%) im Kronenraum bewirkte dagegen eine erhöhte jährliche NEF (45% bzw. 102%), auch die ET der Bestände nahm zu (15% bzw.

30%).

Die Simulationsläufe der NEF bei Veränderung aller drei Standortfaktoren (CO<sub>2</sub>, Temperatur und Stickstoff) zeigten, dass sich die gegenläufigen Effekte der Temperatur und des Stickstoffs kompensieren und langfristig eine erhöhte NEF der Bestände begünstigen. Die ET der Buchenbestände wurde bei Veränderung aller drei Umweltfaktoren im Bereich von 5 - 49% gesteigert.