

Temperatur- und CO₂-Abhängigkeit des Gaswechsels von *Fagus sylvatica* L. nach Wachstum unter erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentration

Jörn Strassmeyer, Manfred Forstreuter und Dieter Overdieck

Synopsis

Temperature and CO₂ dependent gas exchange of *Fagus sylvatica* L. after growth at elevated CO₂ concentration

In the second year of a long-term CO₂ experiment on young beech stands grown at ambient ($371 \pm 46 \mu\text{mol mol}^{-1}$) and elevated ($701 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$) CO₂ concentrations and under unlimited nutrient supply, single leaf gas exchange measurements were obtained during three measurement periods. A_n/C_i curves were measured on sun and shade leaves with a mini-cuvette system (CMS 400, Walz) under constant environmental conditions ($PPFD > 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $T_{\text{leaf}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $VPD = 1.4 \text{ kPa}$). During the second measurement period A_n/C_i curves were measured at four additional temperatures (17, 21, 29, 35 °C).

At elevated CO₂, sun and shade leaves showed a 66% increase in net photosynthesis. Adjustments of the photosynthesis apparatus to CO₂ elevation were not detected either for sun or shade leaves. A_n , A_{max} and the initial slope of the A_n/C_i curves showed no significant change as a result of the increase in the CO₂ growth concentration. Saplings of *Fagus sylvatica* L. will therefore profit from the future rise in the atmospheric CO₂ concentration.

An increase in the temperature will modify the response of A_n under changing atmospheric CO₂ conditions. At 30 °C the CO₂ response was significantly higher than at 20 °C. Additionally, the temperature optimum of A_n will increase by 1–2 °C if the CO₂ concentration is doubled. Therefore the interaction of the rising atmospheric CO₂ concentration and the predicted warming of the earth's surface are likely to enhance the CO₂ response of young beech trees.

Fagus sylvatica L., elevated CO₂ concentration, net photosynthesis, acclimation, conductance, transpiration, intercellular CO₂ concentration, temperature optimum

Abkürzungen

A_{max} : Photosynthesekapazität;
 A_n : Nettophotosyntheserate;
 $\Delta A_{350-700}$: Steigerung der Nettophotosyntheserate nach Verdoppelung von C_a ;
 A_{opt} : A_n bei Optimumtemperatur;
 C_a : CO₂-Konzentration in der Blattmeßkuvette;
 C_i : interzelluläre CO₂-Konzentration;
 dA_n/dC_i : Anfangssteigung der A_n/C_i -Kurven;
 T_{blatt} : Blattemperatur;
 T_{opt} : Optimumtemperatur von A_n ;
 Γ : CO₂-Kompensationspunkt;
 VPD : Wasserdampfdruckdefizit;
 $PPFD$: Photonenflußdichte;

1 Einleitung

Seit Beginn der Industrialisierung ist die atmosphärische CO₂-Konzentration von einem vorindustriellen Wert von ca. 280 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ CO₂ um 27 % auf den heutigen Wert von ca. 360 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ CO₂ gestiegen (NEFTEL & al. 1985, SARIMENTO & BENDER 1994). Aufgrund der anhaltenden anthropogenen CO₂-Emission (KEELING & WHORF 1994, FORSTREUTER & al. 1994) ist im kommenden Jahrhundert eine Verdoppelung der vorindustriellen CO₂-Konzentration und ein Anstieg der Temperatur um 3 °C zu erwarten (HOUGHTON & al. 1990).

Seit langem ist bekannt, daß C₃-Pflanzen auf eine kurzfristige Erhöhung der atmosphärischen CO₂-Konzentration mit einer Steigerung der Photosyntheserate reagieren (GODELEWSKY 1873, FARQUHAR & al. 1980, CURE & ACOCK 1986, EAMUS & JARVIS 1989, OVERDIECK 1993, SAGE 1994). Eine andauernde Erhöhung der CO₂-Konzentration kann zu Akklimatisierungen des Photosyntheseapparates wie z. B. der Reduktion des RuBisCO-Gehaltes und Veränderungen in der Thylakoidstruktur führen (von CAEMMERER & FARQUHAR 1984, DE LUCIA & al. 1985, SAGE & al. 1989).

Die Antwort des Photosyntheseapparates auf eine Erhöhung der CO₂-Konzentration kann durch Umweltbedingungen wie Verfügbarkeit von Wasser, Stickstoffgehalt und Temperatur modifiziert werden (von CAEMMERER & FARQUHAR 1981, TISSUE &

OECHEL 1987, FARQUHAR & al. 1989, GRULKE & al. 1990, IDSO & al. 1993). Mit steigender Temperatur nimmt die Oxygenierungsrate im Verhältnis zur Carboxylierungsrate aus zwei Gründen zu: 1) Die Affinität der RuBisCO für CO_2 nimmt unter hohen Temperaturen ab und 2) die Löslichkeit von CO_2 in Wasser nimmt im Vergleich zur Löslichkeit von O_2 stärker ab (JORDAN & ÖGREN, 1984). Somit nimmt auch der Anteil an Photorespiration mit steigender Temperatur zu. Unter hohen CO_2 -Bedingungen, bei denen Photorespiration kompetitiv durch CO_2 gehemmt ist, hat der Temperatureffekt demnach stärkere Auswirkungen auf die Nettphotosyntheserate als unter niedrigen CO_2 -Bedingungen (FARQUHAR & al. 1980, BERRY & RAISON 1982, LONG 1991). Die Reaktion der Nettphotosynthese auf Temperaturveränderungen ergibt sich aus der Summierung der Temperaturabhängigkeiten der daran beteiligten Prozesse. Mit steigender CO_2 -Konzentrationen ändert sich der Anteil der einzelnen Prozesse an der Nettphotosynthese und somit auch das Temperaturoptimum (FARQUHAR & al. 1980, BERRY & RAISON 1982, LONG 1991).

In der vorliegenden Arbeit wird die Akklimatisierung des Photosyntheseapparates von jungen Buchen an langfristig erhöhte CO_2 -Bedingungen untersucht. Außerdem soll untersucht werden, ob und inwieweit Jungpflanzen von *Fagus sylvatica* L. auf eine Temperaturerhöhung reagieren.

2 Material und Methoden

Eineinhalbjährige Sämlinge von *Fagus sylvatica* L. wachsen seit April 1994 unter atmosphärischer ($370 \pm 46 \mu\text{mol mol}^{-1}$) und erhöhter ($701 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$) CO_2 -Konzentration. Die Buchensämlinge (erstes Jahr: $n = 49$; zweites Jahr $n = 36$) werden dabei in Minigewächshäusern aus UV-durchlässigem Acrylglas nachgestellten Freilandbedingungen ausgesetzt (FORSTREUTER 1995). Im Herbst 1992 erfolgte die Aussaat der Samen (Herkunft 810 03, Nordwestdeutsches Tiefland) in einem Torfsandgemisch bei 5°C im Gewächshaus. Ab Januar 1993 wuchsen die Keimlinge in Töpfen ($13 \times 13 \times 13 \text{ cm}$) bei 10°C und wurden im Juli 1993 balliert und im Freiland in Baum-schulbeete gesetzt. Im März 1994 wurden aus etwa 1000 Sämlingen 49 Buchen pro Versuchsfläche ausgewählt und in die Minigewächshäuser bzw. Freilandflächen gepflanzt (FORSTREUTER 1996).

Das Mikroklima und die Windgeschwindigkeit in den Minigewächshäusern wurde entsprechend den Außenbedingungen geregelt (FORSTREUTER 1991, 1996). Das Bodenvolumen in den Kammern beträgt 385 dm^3 ($7,4 \text{ dm}^3$ pro Pflanze). Als Substrat wurde ein lehmiger Sand (Raumgewicht: $1,1 \text{ g cm}^{-3}$) mit mittlerer bis guter Nährstoffversorgung ($P_{\text{DL}}: 19, K_{\text{DL}}:$

$16, \text{Mg}_{\text{CaCl}_2}: 10 \text{ mg}/100\text{mg}$ Boden, $\text{NH}_4^+\text{-N}: < 5, \text{NO}_3^-\text{-N}: 50 \text{ kg}/\text{ha}$) verwendet. Die Bodenwassergehalte wurden bei ca. 20% konstant gehalten.

Im zweiten Begasungsjahr wurden während drei Meßperioden (4.6–6.7.; 8.8.–27.8.; 27.8.–22.9.) an je sechs bis acht Sonnen- und Schattenblättern mit Hilfe eines Miniküvetten-Systems (CMS Blau 400, Walz) und einer Gasmischanlage (GMA-2, Walz) A_n/C_i -Kurven unter konstanten Bedingungen (PPFD $> 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $T_{\text{blatt}} = 25^\circ\text{C}$, $\text{VPD} = 1,4 \text{ kPa}$) erstellt. Dazu wurden den Blättern acht Meßkonzentrationen ($C_i: 50, 100, 200, 350, 450, 550, 700$ und 1000) angeboten. Die Empfindlichkeitsänderung des URAS (BINOS 100, Rosemont) für CO_2 und H_2O bei verschiedenen Grundpegeln wurde mit Hilfe der gerätespezifischen Empfindlichkeitsfunktion abgeglichen. Zusätzlich wurden während der zweiten Meßperiode an je sechs bis acht Sonnenblättern A_n/C_i -Kurven bei vier weiteren Temperaturstufen ($T_{\text{blatt}} = 17, 21, 29, 35^\circ\text{C}$) ermittelt.

Die Berechnung von C_i wurde nach dem Modell von FARQUHAR & al. (1980) durchgeführt. Die Daten der Einzelblattmessungen wurden mittels U-Test auf Signifikanz getestet. Mit Hilfe nicht linearer Regressionen nach dem 'Marquart Least Square'-Verfahren (SAS Institute, 1988) wurden folgende Funktionen an die Meßdaten angepaßt:

I) Nettphotosyntheserate:

$$A_n = A_{\text{max}} \cdot \left(1 - e^{-b \cdot (C_i - \Gamma)}\right)$$

wobei A_{max} , Γ und b (Krümmungsfaktor) die Parameter sind;

II) Temperaturabhängigkeit von A_n :

$$A_n = \frac{a \cdot (-1 \cdot (T_{\text{blatt}})^4 + 2 \cdot (T_{\text{blatt}} - b)^2 \cdot (c - b)^2)}{(c - b)^4}$$

wobei a , b und c empirische Parameter sind.

3 Ergebnisse

CO_2 -Abhängigkeit des Gaswechsels

Mit zunehmender C_i läßt die Steigerung von A_n nach, bis ein Sättigungswert (A_{max}) erreicht wird (Abb. 1 und 2). Bei beiden Blatttypen ist eine starke Streuung von A_n , A_{max} , $\Delta A_{350-700}$ und dA_n/dC_i zu erkennen (Tab. 1). Zwischen den beiden CO_2 -Wachstumsbedingungen bestehen bezüglich $\Delta A_{350-700}$, A_{max} und dA_n/dC_i keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,1$, Tab.1). Dagegen liegen die CO_2 -Kompensationspunkte (T) der Sonnen- und Schattenblätter unter erhöhter CO_2 -Wachstumsbedingung bei signifikant höheren CO_2 -Konzentrationen als unter normaler CO_2 -Wachstumskonzentration ($p < 0,01$). Unter CO_2 -

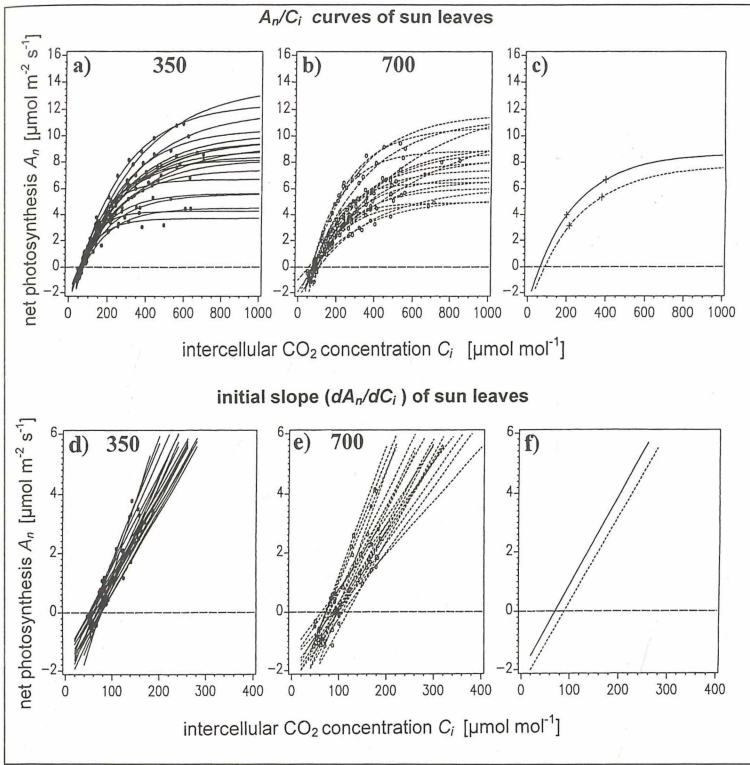


Abb. 1: A_n/C_i -Kurven (a–c) und Anfangssteigungen der A_n/C_i -Kurven (e–f) von allen untersuchten Sonnenblättern. Einzelblattmessungen und Regressionsmodelle bei a, d) 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (—●) und b, e) 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (---○) CO₂-Wachstumskonzentration. c, f) Mediane der Regressionsmodelle, +: kennzeichnet die den Wachstumsbedingungen (350 und 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) entsprechende C_i -Konzentration.

Fig. 1: A_n/C_i curves (a–c) and initial slopes of A_n/C_i curves (e–f) of all measured sun leaves. Single leaf measurements and regression models at a, d) 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (—●) and b, e) 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (---○) CO₂ growth concentration. c, f) Median of the regression models, +: marks the C_i concentration corresponding to the CO₂ growth concentrations (350 and 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$).

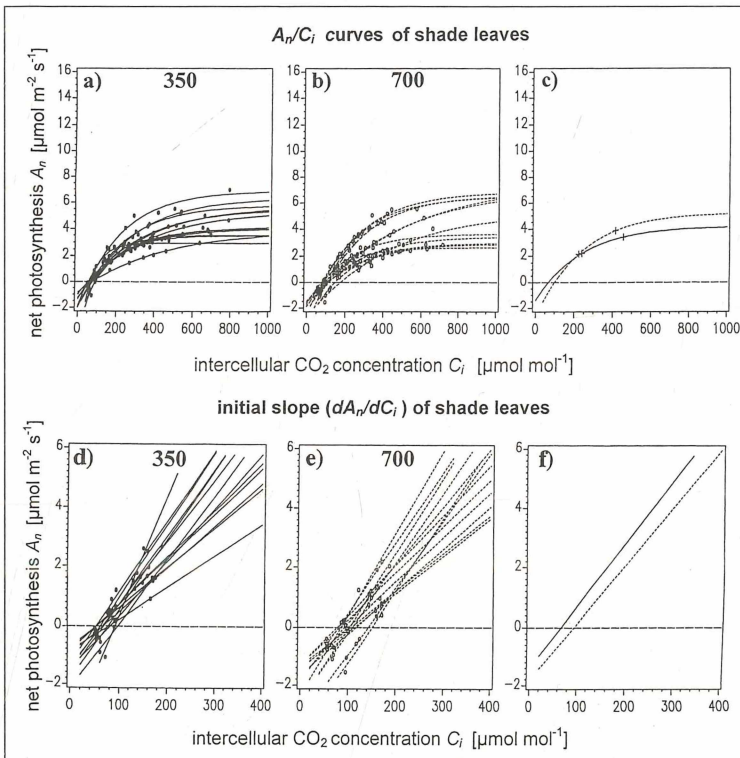


Abb. 2: A_n/C_i -Kurven (a–c) und Anfangssteigungen der A_n/C_i -Kurven (e–f) von allen untersuchten Schattenblättern. Einzelblattmessungen und Regressionsmodelle bei a, d) 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (—●) und b, e) 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (---○) CO₂-Wachstumskonzentration. c, f) Mediane der Regressionsmodelle, +: kennzeichnet die den Wachstumsbedingungen (350 und 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) entsprechende C_i -Konzentration.

Fig. 2: A_n/C_i curves (a–c) and initial slopes of A_n/C_i curves (e–f) of all measured shade leaves. Single leaf measurements and regression models at a, d) 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (—●) and b, e) 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (---○) CO₂ growth concentration. c, f) Median of the regression models, +: marks the C_i concentration corresponding to the CO₂ growth concentrations (350 and 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$).

Tab. 1

Nettophotosyntheseraten (A_{350}, A_{700}), Steigerung der Nettophotosyntheserate ($\Delta A_{350-700}$), Photosynthesekapazität (A_{max}), CO_2 -Kompensationspunkt (Γ) und Anfangssteigung (dA_n/dC_i) der A_n/C_i -Kurven.

		A_{350} [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]		A_{700} [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]		$\Delta A_{350-700}$ [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]		A_{max} [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]		Γ [$\mu\text{mol mol}^{-1}$]		dA_n/dC_i [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$]	
CO ₂ -growth concentration [$\mu\text{mol mol}^{-1}$]		350	700	350	700	350	700	350	700	350	700	350	700
sun leaves	M	4.0	3.1	6.6	5.4	2.6 (65%)	2.3 (74%)	8.8	7.8	66	89	0.030	0.029
	I ₅₀	1.9	1.2	3.0	2.2	1.5	0.9	4.5	3.6	16	21	0.008	0.008
	p	0.11		0.22		0.73		0.64		0.001		0.15	
shade leaves	M	2.2	1.8	3.4	3.0	1.2 (52%)	1.2 (66%)	4.1	5.2	67	99	0.021	0.020
	I ₅₀	0.5	0.7	0.9	1.5	0.5	0.7	1.9	3.2	20	24	0.008	0.008
	p	0.06		0.36		0.18		0.92		0.002		0.98	

M: median of single leaf measurements, I₅₀: interquartil range, p: significance level for the U-Test.

Table 1

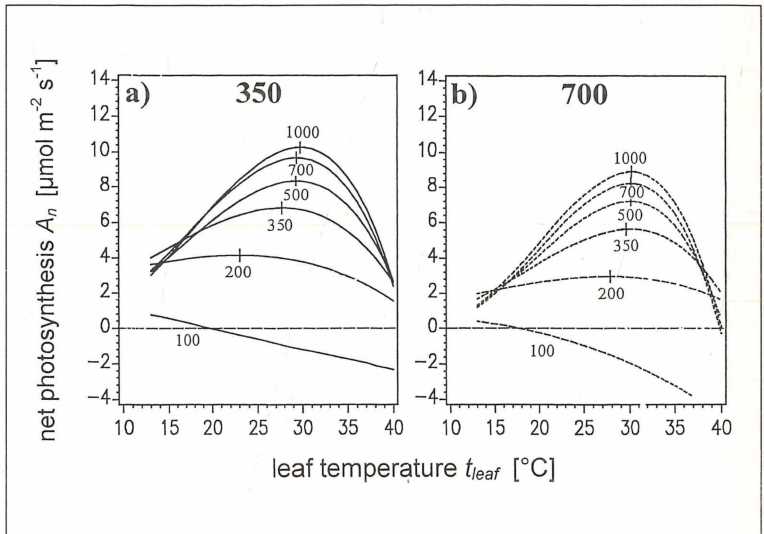
Net photosynthesis (A_{350}, A_{700}), increase of net photosynthesis ($\Delta A_{350-700}$), capacity of photosynthesis (A_{max}), CO_2 compensation point (Γ) and initial slope (dA_n/dC_i) of the A_n/C_i -curves.

Abb. 3

Temperaturabhängigkeit der Nettophotosynthese von Sonnenblättern bei verschiedenen CO_2 -Meßkonzentrationen. a) $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$, (—●), b) $700 \mu\text{mol mol}^{-1}$. (---○) CO_2 -Wachstumskonzentration, I: kennzeichnet die Optimumstemperatur.

Fig. 3

Temperature dependency of net photosynthesis of sun leaves at various CO_2 concentrations. a) $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$, (—●), b) $700 \mu\text{mol mol}^{-1}$. (---○) CO_2 growth concentration, I: marks the optimum temperature.



Wachstumsbedingungen von $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$ betrug Γ 66 bzw. 67 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ bei Sonnen- bzw. Schattenblättern; unter CO_2 -Wachstumsbedingungen von $700 \mu\text{mol mol}^{-1}$ dagegen 89 bzw. 99 $\mu\text{mol mol}^{-1}$.

Temperaturabhängigkeit der Nettophotosynthese

Bei jeder C_a nimmt A_n mit steigender Temperatur zu, bis sie eine Optimumtemperatur (T_{opt}) erreicht hat. Abb. 3 zeigt, daß sich T_{opt} unter normaler atmosphärischer CO_2 -Wachstumskonzentration um $1,8^\circ\text{C}$ und unter erhöhter um $0,9^\circ\text{C}$ verschiebt. T_{opt} be-

trägt bei einer C_a von $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$ CO_2 $27,8^\circ\text{C}$ unter normaler bzw. $29,2^\circ\text{C}$ unter erhöhter CO_2 -Wachstumsbedingung. Unter erhöhter CO_2 -Wachstumsbedingung wurde A_{opt} bei einer C_a von $500 \mu\text{mol mol}^{-1}$ CO_2 und einer T_{opt} von $30,1^\circ\text{C}$ erreicht. Unter normaler CO_2 -Wachstumsbedingung wurde A_{opt} bei einer C_a von $700 \mu\text{mol mol}^{-1}$ CO_2 und einer T_{opt} von $29,6^\circ\text{C}$ erreicht. Höhere C_a verursachen keine weitere Verschiebung von T_{opt} .

Eine Temperaturerhöhung hat bei hoher C_a einen stärkeren Einfluß auf A_n als bei niedriger C_a . Bei einer

C_a von 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ CO₂ beträgt A_n unter T_{opt} 6,8 bzw. 5,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bei 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ CO₂ dagegen 9,6 bzw. 8,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Die Steigerung von A_n nach einer Verdoppelung von C_a betrug bei 20 °C 26% bzw. 18% und bei 30 °C 43% bzw. 49%.

4 Diskussion

STITT (1991) berechnete nach dem Modell von FARQUHAR & al. (1980) ein $\Delta A_{350-700}$ von 25%, wenn die Regeneration von RuBP limitierend wirkt, und von 75%, wenn die RuBisCO limitierend wirkt. In GUNDERSON & WULLSCHLEGER (1994) wird für *Fagus sylvatica* L. eine Steigerung der Nettophotosyntheserate von 55% angegeben. In der vorliegenden Arbeit wurden je nach Blatttyp und CO₂-Wachstumskonzentration ein $\Delta A_{350-700}$ zwischen 52% und 74% gemessen. Der Median der Nettophotosynthesesteigerungen aller Blätter betrug 66% und war etwas größer als der Wert im Vorjahr mit 56% (FORSTREUTER 1996).

EPRON & al. (1995) ermittelten an juvenilen Buchen Γ^* (entspricht Γ in Abwesenheit von der Dunkelatmung) von 81 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In der vorliegenden Arbeit liegt Γ bei erhöhter CO₂-Wachstumskonzentration (89 bzw. 99 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) höher und bei normaler CO₂-Wachstumskonzentration (66 bzw. 67 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) niedriger als bei EPRON & al. (1995). Die signifikanten Unterschiede in Γ zwischen den beiden CO₂-Wachstumskonzentrationen können auf eine erhöhte »Dunkelatmung« der Blätter beruhen. Für *Fagus sylvatica* wird in einem Übersichtsartikel von CEULEMANS & MOUSSEAU (1994) eine Steigerung der Respiration von 90% angegeben. Ein Abnahme der SLA unter erhöhter CO₂-Wachstumskonzentration (MOUSSEAU & SAUGIER 1992, FORSTREUTER 1995) kann erhöhte Atmungsraten erklären, wenn neben den Speicherkohlenstoffen (KÖLN & al. 1997) und Strukturkohlenstoffen auch die Menge an atmungsfähigem Gewebe zunimmt (THOMAS & HARVEY 1983).

Aufgrund der gesteigerten A_n bei erhöhter C_a könnten Pflanzen sinnvoll Ressourcen einsparen, wenn sie weniger RuBisCO produzieren und die dadurch frei werdenden Ressourcen, wie z.B. Stickstoff, in andere wachstumslimitierende Prozesse investieren würden. Eine Verringerung der RuBisCO-Aktivität zeigt sich in einer geringeren Anfangssteigung der A_n/C_i -Kurven (Carboxylierungseffizienz), da diese direkt proportional zur RuBisCO-Aktivität ist (FARQUHAR & al. 1980). Bei beiden Blatttypen waren die Anfangssteigungen (dA_n/dC_i) zwischen den beiden CO₂-Wachstumsbedingungen nicht signifikant verschieden. Dies stimmt mit Beobachtungen aus dem Vorjahr von FORSTREUTER (1996) und mit Ergebnissen von GUNDERSON & al. (1993) bei *Liriodendron*

tulipifera und *Quercus alba* überein. Auch in $\Delta A_{350-700}$ und A_{max} traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden CO₂-Wachstumskonzentrationen auf. Bei den hohen CO₂-Konzentrationen, bei denen A_{max} erreicht wird, wirkt die Endproduktsyntheserate oder die RuBP-Regeneration limitierend auf die Nettophotosynthese (SAGE 1994). Die an diesen Prozessen beteiligten Enzyme unterliegen somit keiner Akklimatisation an eine erhöhte CO₂-Konzentration. *Fagus sylvatica* ist daher eine Baumart, die von der in Zukunft ansteigenden atmosphärischen CO₂-Konzentration erheblich profitieren kann.

Die gemessenen Temperaturoptima bei 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ CO₂ ($T_{opt} = 27,7$ bzw. $29,1^\circ\text{C}$) liegen im Vergleich zu Untersuchungen an adulten Bäumen mit T_{opt} von 18°C bis $25,1^\circ\text{C}$ deutlich höher (SCHULZE 1970, SCHULTE 1992). Diese Abweichungen können unter anderem auf unterschiedlichen physiologischen Eigenschaften von adulten und juvenilen Bäumen beruhen. Aber auch die extremen Klimabedingungen in 1995, wie hoher Anteil an direkter Sonneneinstrahlung und hohe Temperaturen können zu einer Anpassung der juvenilen Bäume an höhere Temperaturen geführt haben.

Es konnte gezeigt werden, daß $\Delta A_{350-700}$ bei hoher Temperatur größer ist als bei niedriger. Dies stimmt mit Versuchen von IDSO & al. (1993) an Orangenbäumen überein, die bei niedrigen Außentemperaturen kein $\Delta A_{350-700}$ zeigten. Freilandversuche unter kalten Klimabedingungen, wie sie in der arktischen Tussoc-Tundra herrschen, zeigen ebenfalls keine oder nur geringe Reaktionen von A_n auf eine erhöhte CO₂-Konzentration (TISSUE & OECHEL 1987, GRULKE & al. 1990). Bei hohen Temperaturen ist die CO₂-Reaktion dagegen besonders stark ausgeprägt (CURTIS & al. 1989, HOGAN & al. 1991). LONG (1991) berechnete anhand von theoretischen Parametern ein $\Delta A_{350-700}$ von 20% bei 10°C und von 105% bei 30°C . In der vorliegenden Arbeit betrug $\Delta A_{350-700}$ bei 20°C 26% unter normaler und 18% unter erhöhter CO₂-Wachstumsbedingung. Bei 30°C lag $\Delta A_{350-700}$ deutlich höher, mit 43% unter normaler und 49% unter erhöhter CO₂-Wachstumsbedingung. Neben dieser Verstärkung der CO₂-Reaktion wurden eine Verschiebung von T_{opt} nach einer Verdoppelung der CO₂-Meßkonzentration beobachtet. Unter normaler CO₂-Wachstumsbedingung wurde das Temperaturoptimum um $1,8^\circ\text{C}$ und unter erhöhter um $0,9^\circ\text{C}$ verschoben. LONG (1991) ermittelte dagegen eine theoretisch mögliche Verschiebung von T_{opt} um 5°C .

Sowohl die temperaturabhängige Modifizierung der CO₂-Reaktion der Nettophotosyntheserate als auch die Verschiebung von T_{opt} tragen dazu bei, daß der Anstieg der Nettophotosyntheserate aufgrund erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentration bei einer

möglicherweise zukünftig ansteigenden Temperatur größer ausfallen dürfte als bei der derzeit herrschenden Temperatur. Eine Steigerung der Respiration bei erhöhter Temperatur in nicht photosynthetisch aktiven Organen könnte jedoch die Auswirkung des verstärkten CO₂-Effekts der Nettphotosynthese auf die Kohlenstoffbilanz der Pflanze abschwächen.

Danksagung

Für die technische Hilfe bei der Betreuung und Wartung der Versuchsanlage gilt unser besonderer Dank Frau Elfriede West, Herrn Ralf Stark und Herrn Dirk Rathmann. Diese Arbeit wurde im Rahmen des DFG-Schwerpunktes 'Wachstum und Stoffwechsel der Pflanze unter erhöhter CO₂-Konzentration (Ov2/1-1)' gefördert.

Literatur

- BERRY, J.A. & RAISON, J.K., 1982: Responses of macrophytes to temperature. In: LANGE, O.L., NOBEL, P.S., OSMOND, C.B., ZIEGLER, H. (eds.): Encyclopedia of Plant Physiology, N.S. 12A. Springer-Verlag, Berlin, pp. 550–587.
- CAEMMERER VON, S. & FARQUHAR, G.D., 1981: Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and gas exchange in leaves. *Planta* 153: 376–387.
- CAEMMERER VON, S. & FARQUHAR, G.D., 1984: Effects of partial defoliation, changes in irradiance during growth, short-term water stress and growth at enhanced p(CO₂) on the photosynthetic capacity of leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *Planta* 160: 320–329.
- CEULEMANS, R. & MOUSSEAU, M., 1994: Tansley review No. 71. Effects of elevated atmospheric CO₂ on woody plants. *New Phytol.* 127: 425–446.
- CURE, J.D. & ACOCK, B., 1986: Crop responses to carbon dioxide doubling: A literature survey. *Agricultural Forest Meteorology* 38: 127–145.
- CURTIS, P.S., DRAKE, B.G., ARP, W.J. & WHIGHAM, D.F., 1989: Growth and senescence in plant communities exposed to elevated CO₂ concentrations on an estuarine marsh. *Oecologia* 78: 20–26.
- DE LUCIA, E.H., SASEK, T.W. & STRAIN, B.R., 1985: Photosynthetic inhibition after long-term exposure to elevated levels of atmospheric carbon dioxide. *Photosyn. Res.* 7: 175–184.
- EAMUS, D. & JARVIS, P.G., 1989: The direct effects of increase in the global atmospheric CO₂ concentration on natural and commercial temperate trees and forests. *Adv. Ecol. Res.* 19: 1–15.
- EPRON, D., GODARD, D., CORNIC, G. & GENTY, B., 1995: Limitation of net CO₂ assimilation rate by internal resistances to CO₂ transfer of two tree species (*Fagus sylvatica* L. and *Castanea sativa* Mill.). *Plant Cell Environ.* 18:43–51.
- FARQUHAR, G.D., VON CAEMMERER, S. & BERRY, J.A., 1980: A biochemical model of photosynthetic CO₂ fixation in C₃ species. *Planta* 149: 178–190.
- FARQUHAR, G.D., WONG, S.C., EVANS, J.R. & HUBRICK, K.T., 1989: Photosynthesis and gas exchange. In: JONES, H.G., FLOWERS, T.J., JONES, M.B. (eds.): *Plants under stress*. Cambridge University Press, Cambridge: pp. 47–71.
- FORSTREUTER, M., 1991: Langzeitwirkungen der atmosphärischen CO₂-Anreicherung auf den Kohlenstoff- und Wasserhaushalt von Rotklee-Wiesenschwingelgemeinschaften. *Verh. Ges. Ökol.* 19: 265–279.
- FORSTREUTER, M., 1995: Bestandesstruktur und Netto-Photosynthese von jungen Buchen (*Fagus sylvatica* L.) unter erhöhter CO₂-Konzentration. *Verh. Ges. Ökol.* 24: 283–292.
- FORSTREUTER, M., 1996: CO₂-Abhängigkeit (CO₂/H₂O) von jungen Buchenbeständen (*Fagus sylvatica* L.) nach Langzeitbegasung bei 350 und 700 µmol mol⁻¹. *Verh. Ges. Ökol.* 26: 629–636.
- FORSTREUTER, M., TSCHUSCHKE, A. & OVERDIECK, D., 1994: Atmospheric CO₂ record from Osnabrück. In: BODEN, T.A, KAISER, D.P., STEPANSKI, R.J & STOSS, F.W. (eds.), *Trends' 93: A compendium of data on global change*. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge, U.S.A.: 157–160.
- GODELEWSKI, E., 1873: Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung der Blätter von dem Kohlenstoffgehalt der Luft. *Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg, Leipzig*, Bd. I Heft 3: 343–370.
- GRULKE, N.E., RIECHERS, G.H., OECHEL, W.C., HELM, U. & JAEGER, C., 1990: Carbon balance in tussoc tundra under ambient and elevated atmospheric CO₂. *Oecologia* 83: 485–494.
- GUNDERSON, C.A. & WULLSCHLEGER, S.D., 1994: Photosynthetic acclimation in trees to rising atmospheric CO₂: A broader perspective. *Photosyn. Res.* 39(3): 369–388.
- GUNDERSON, C.A., NORBY, R.J. & WULLSCHLEGER, S.D., 1993: Foliar gas exchange responses of two deciduous hardwoods during 3 years of growth in elevated CO₂: No loss of photosynthetic enhancement. *Plant Cell Environ.* 16(7): 797–807.
- HOGAN, K.P., SMITH, A.P & ZISKA, L.H., 1991: Potential effects of elevated CO₂ and changes in temperature on tropical plants. *Plant Cell Environ.* 14, 763–778.
- HOUGHTON, J.T., JENKINS, G.J. & EPHRAUNS, J.J., (eds.), 1990: *Climate Change. The IPCC scientific*

- ic assesment. Cambridge University Press, Cambridge 7(3): 611–617.
- IDSO, S.B., KIMBALL, B.A. & HENDRIX, D.L., 1993: Air temperature modifies the size-enhancing effects of atmospheric CO₂ enrichment on sour orange tree leaves. *Environ. Exp. Bot.* 33(2): 293–299.
- JORDAN, D.B. & OGREN, W.L., 1984: The CO₂/O₂ specificity of ribulose-1,5-bisphosphate concentration, pH and temperature. *Planta* 161: 308–313.
- KEELING, C.D. & WHORF, T.P., 1994: Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network. In: BODEN, T.A., KAISER, D.P., STEPANSKI, R.J & STOSS, F.W (eds.), *Trends' 93: A compendium of data on global change.* ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge, U.S.A.: 16–26.
- KÖLN, T., FORSTREUTER, M. & OVERDIECK, D., 1995: Kohlenhydrat- und Stickstoffgehalte unter erhöhten CO₂-Konzentrationen. *Verh. Ges. Ökol.* im Druck.
- LONG, S.P., 1991: Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant Cell Environ.* 14: 729–739.
- MOUSSEAU, M. & SAUGIER, B., 1992: The direct effect of increased CO₂ on gas exchange and growth of forest tree species. *J. Exp. Bot.* 43: 1121–1130.
- NEFTEL, A., MOORE, E., OESCHGER, H. & STAUFER, B., 1985: Evidence from polar ice cores for the increase in atmospheric CO₂ in the past two centuries. *Nature* 315: 45–47.
- OVERDIECK, D., 1993: Effects of atmospheric CO₂ enrichment on CO₂ exchange rates of beech stands in small model ecosystems. *Water Air and Soil Pollution* 70(1–4): 259–277.
- SCHULTE, M., 1992: Saisonale und interannuelle Variabilität des CO₂-Gaswechsels von Buchen (*Fagus sylvatica* L.) – Bestimmung von C-Bilanzen mit Hilfe eines empirischen Modells. *Dissertation, Aachen Shaker*: 164 pp.
- SCHULZE, E. D., 1970: Der CO₂-Gaswechsel der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Abhängigkeit von Klimafaktoren im Freiland. *Flora* 159: 177–232.
- SAGE, R.F., 1994: Acclimation of photosynthesis to increasing atmospheric CO₂: The gas exchange perspective. *Photosynthesis Research* 39: 351–368.
- SAGE, R.F., SHARKEY T.D. & SEEMANN J.R., 1989: Acclimation of photosynthesis to elevated CO₂ in five C₃ species. *Plant Physiol.* 89: 590–596.
- SARIMENTO, J.L. & BENDER, M., 1994: Carbon biogeochemistry and climate change. *Photosyn. Res.* 39: 209–234.
- SAS INSTITUTE, 1988: *SAS/STAT User's Guide*, Release 6.03 Edition. Cray NC: 675–712.
- STITT, M., 1991: Rising CO₂ levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells. *Plant Cell Environ.* 14: 741–762.
- THOMAS, D. T. & HARVEY, C., 1983: Leaf anatomy of four species grown under continuous CO₂ enrichment. *Bot. Gaz.* 144(3): 303–309.
- TISSUE, D. T. & OECHEL, W., 1987: Response of *Eriophorum vaginatum* to elevated CO₂ and temperature in the Alaskan tundra. *Ecology* 68: 401–410.

Adresse

Dipl. Biol. Jörn Strassmeyer
 Dr. Manfred Forstreuter
 Prof. Dr. Dieter Overdieck
 Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie
 Fachgebiet: Ökologie der Gehölze
 Königin-Luise-Str. 22
 D-14195 Berlin

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [27_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Forstreuter Manfred, Overdieck Dieter,
Strassemeyer Jörn

Artikel/Article: [Temperatur- und CO₂-Abhängigkeit des Gaswechsels von *Fagus sylvatica* L nach Wachstum unter erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentration 303-309](#)