

## Wirkungen von Ozon auf CO<sub>2</sub>-Gaswechsel und Transpiration bei *Nicotiana tabacum* L. Bel W-3 und *Phaseolus vulgaris* L. var. *saxa*

Dieter Overdieck und Andreas Faensen-Thiebes

CO<sub>2</sub> gas exchange and transpiration of full-grown tobacco and young bean leaves were measured in a laboratory before and after exposure to ozone (O<sub>3</sub>). If only 2 ppm O<sub>3</sub> had been applied over 75 min. the CO<sub>2</sub> net assimilation of the tobacco leaves decreased to 45% whereas the transpiration was not changed significantly.

At first the CO<sub>2</sub> net assimilation of the bean leaves dropped to 53% (at 0.5 ppm O<sub>3</sub>) or 65% (at 0.3 ppm O<sub>3</sub>) of the values before gas exposure (time of exposure: 2 h). After 10-15 h the average net photosynthesis rates at both O<sub>3</sub> concentrations increased to 77-88% of the initial values again. The transpiration showed almost parallel results. During short periods in summer (a few hours per day), ozone concentrations in Middle and Western Europe reach about the same level as in our experiments (0.2 - 2 ppm).

*Air pollution, Nicotiana tabacum, ozone, Phaseolus vulgaris, photosynthesis, transpiration.*

### 1. Einführung

Infolge der Verbrennungsprozesse in Otto- und Dieselmotoren entsteht unter anderem Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>). Dieses Gas absorbiert besonders stark den ultravioletten Anteil der Sonnenstrahlung, wobei vor allem Wellenlängen unter 440 nm Sauerstoffradikale freisetzen (BJÖRN 1975), die mit dem molekularen Luftsauerstoff (O<sub>2</sub>) zu Ozon (O<sub>3</sub>) reagieren können. Kohlenwasserstoffe in der Luft fördern diese Reaktion erheblich. In Gebieten mit höheren Einstrahlungsquoten wird mehr O<sub>3</sub> in Bodennähe gebildet als in solchen mit schwächerer Einstrahlung. Das anthropogene O<sub>3</sub> kann den natürlichen O<sub>3</sub>-Gehalt der Luft um ein Vielfaches erhöhen und zu einer Hauptkomponente des photochemischen Smogs werden lassen, dessen pflanzenschädigende Wirkung bereits 1952 von HAAGEN-SMIT et al. im Los Angeles-Becken festgestellt wurde. In diesem Gebiet erreichte die O<sub>3</sub>-Konzentration in den Jahren 1964-1967 maximal Stundenmittelwerte von 0.58 ppm. Aber auch in West- und Mitteleuropa tritt dieser "Los Angeles-Smog" mit der Leitkomponente O<sub>3</sub> auf: In den Niederlanden sind Stundenmittelwerte um 0.2 ppm nicht selten, in Mannheim-Mitte wurden 1976 0.3 ppm (OBLÄNDER, SIEGEL 1977) und in Köln-Rodenkirchen von 0.28 ppm registriert (IXFELD 1977). Der höchste 1976 in Mannheim gemessene Einzelwert lag bei 1.33 ppm.

Sicher ist, daß O<sub>3</sub>-Gehalte der Luft, wie sie in Los Angeles und Umgebung über Stunden gemessen werden, an vielen Pflanzen äußerlich sichtbare Schäden in Form von Chlorosen und Nekrosen verursachen. Das typische Oxidantenschadensbild zeigt bei Pflanzen mit flächigen Blattspreiten punktförmig über die gesamte Fläche verteilte, sehr kleine, helle Flecken. Bevor solche Schäden ein sichtbares Ausmaß erreichen können, müssen gravierende physiologische Veränderungen vorausgegangen sein. Einige Untersuchungen zeigen, daß das starke Oxidationsmittel O<sub>3</sub> die Aktivität der verschiedensten Enzyme beeinflusst. Außerdem erhöht es die Permeabilität der Zellmembranen, wodurch Salz- und Wasserhaushalt der Zellen gestört werden. Nachgewiesen wurde auch, daß der Elektronentransport der beiden Photosysteme der Photosynthese blockiert wird (Literaturübersicht bei HEATH 1975).

Es ist bisher noch zu wenig untersucht, ob sich die beobachteten cyto-physiologischen Veränderungen auch auf die Photosyntheseleistung und die Transpiration größerer Pflanzenteile insgesamt auswirken, bevor Gewebepartien chlorotisch oder nekrotisch werden. In der folgenden Untersuchung ist deshalb versucht worden, kontinuierlich den CO<sub>2</sub>-Gaswechsel und die Transpiration von ganzen Blättern unter definierten Umweltbedingungen vor und nach der Begasung mit O<sub>3</sub> zu messen. Als Versuchsobjekte wurden eine Tabak- und eine Bohnensorte ausgewählt, die schon häufig als Bioindikatoren für O<sub>3</sub> in der bodennahen Atmosphäre eingesetzt worden sind, weil sie besonders empfindlich auf Oxidantien reagieren (vgl. RUDOLPH 1977; SCHOLL, van HAUT 1977).

### 2. Material und Methoden

Im Gewächshaus wurde *Nicotiana tabacum* Bel W-3 in Tontöpfen (Ø 12 cm) herangezogen, die mit einem Gemisch aus käuflicher Einheits- und Gartenerde (1:1) gefüllt waren. Die Pflanzen wuchsen unter Lampen auf (Osram HQI TS 440 W, Bestrahlungsstärke: 500-700 µE · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>). Die Bohnen wurden, nach

Vorkeimung in feuchtem Kies, in Klimaschränken in Hydrokultur gezogen. Die Temperatur betrug 24 °C am Tage und 20 °C nachts, die relative Luftfeuchtigkeit lag bei 70% und die Bestrahlungsstärke an den Tagen vor den Gaswechsellmessungen bei ca.  $150 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (Meßgerät: Quantum-Photometer Modell Li-170 Lambda). Nachdem die Tabakpflanzen ihr Längenwachstum abgeschlossen und die Bohnen ihr erstes dreifedriges Blatt entfaltet hatten, wurden sie in klimatisierte Räume überführt. Dort wurden an den Tabakpflanzen ca. 12 cm lange und ca. 1 dm<sup>2</sup> große frische Blätter annähernd gleicher Exposition ausgewählt und an diesen CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation, Dunkelatmung und Transpiration mit einer Sirigor-Anlage (Siemens) kontinuierlich über längere Zeit (max. 20 h, min. 2 h) gemessen. Bei den Bohnen wurden die gleichen Parameter an den ersten dreifedrigen Blättern ermittelt (Dauer der Messung: durchschnittlich 10 h). Anschließend wurden die Pflanzen in Laborklimaschränken (Typ: Ecophyt Voetsch) mit O<sub>3</sub>-haltiger, über Kieselgel getrockneter Luft aus einem Ozonisator (Fa. Sander) begast. Die O<sub>3</sub>-Konzentration der Luft wurde über einen O<sub>3</sub>-Analysator (Beckmann, Mod. 950 A) mit eingebauter Eichgasquelle ermittelt, der nach dem Chemilumineszenzprinzip arbeitet (SEIFERT et al. 1976). Die O<sub>3</sub>-Meßwerte wurden von einem Linienschreiber registriert und über einen Schiebewiderstand automatisch am Ozonisator (s.o.) auf den vorgewählten Wert geregelt. Bei 0.175 ppm O<sub>3</sub> lagen die Regelschwankungen bei  $\pm 5\%$ .

*Nicotiana tabacum* L. Bel W-3 wurde jeweils 1-1.25 Stunden lang mit 0.25 (n=2), 0.5 (n=1), 1.2 (n=3) sowie 2 ppm (n=2) und *Phaseolus vulgaris* L. var. *saxa* jeweils 2 h lang mit 0.3 (n=7) und 0.5 ppm (n=8) Ozon begast (n: Anzahl der Versuchspflanzen).

Nach der Begasung wurden die CO<sub>2</sub>-Gaswechsel- und Transpirationsmessungen an beiden Objekten bis zu 30 h wie vorher fortgesetzt. Dabei wurden die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der klimatisierten Blatküvette aus Acrylglas und in der Außenluft (Vergleichsluft) absolut bestimmt. Der dazu eingesetzte Ultrarot-Gasanalysator (Uras 2, Hartmann & Braun) wurde mit Gasgemischen bestimmter Konzentrationen geeicht, die mit Hilfe von zwei in Kaskade geschalteten Gasmischpumpen (Wösthoff) aus reinem CO<sub>2</sub> und reinem N<sub>2</sub> hergestellt worden waren. Die von den Blättern fixierten bzw. (bei Dunkelheit) abgegebenen CO<sub>2</sub>-Mengen wurden aus den Aufzeichnungen eines Meßwertpuntschreibers (Siemens, Kompensograph P) als Halbstunden- bzw. Stundenmittelwerte berechnet und die Transpirationsraten parallel dazu mit Hilfe von Lithiumchlorid-Feuchtefühlern ermittelt, die in die Anlage eingebaut sind. Einzelheiten über Entwicklung, Arbeitsweise und Leistung der Anlage sind u.a. Veröffentlichungen von KOCH et al. (1968) sowie LANGE, SCHULZE (1971) zu entnehmen. Alle Berechnungen wurden an einem Terminal des Großrechenzentrums Berlin durchgeführt.

Die Temperatur in der Küvette betrug bei den Tabakblättern  $19.5 \pm 1.3$  °C (bei Licht und Dunkelheit), die rel. Luftfeuchtigkeit  $50 \pm 10\%$  und die Stärke der photosynthetisch aktiven Strahlung  $750 \pm 50 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (HQI-Lampe, s.o.). Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Vergleichsluft in der Anlage schwankte mit dem Gehalt der Außenluft und betrug im Mittel  $360 \pm 30$  ppm. Die Temperatur in der Umgebungsluft der Bohnenblätter (Küvette) lag während der Messung bei  $26 \pm 1$  °C, die rel. Luftfeuchtigkeit bei  $65 \pm 7\%$ , die Stärke der photosynthetisch aktiven Strahlung bei  $170 \pm 20 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  und der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Vergleichsluft in der Meßanlage bei  $310 \pm 40$  ppm. Als Bezugsgröße für alle Gaswechselmeßwerte diente die einseitige Blattfläche, die mit Hilfe eines tragbaren Blattflächenmeßgerätes ermittelt worden ist (Portable Area Meter, Modell Li-300, Lambda; mittl. Fehler:  $\pm 2\%$ ).

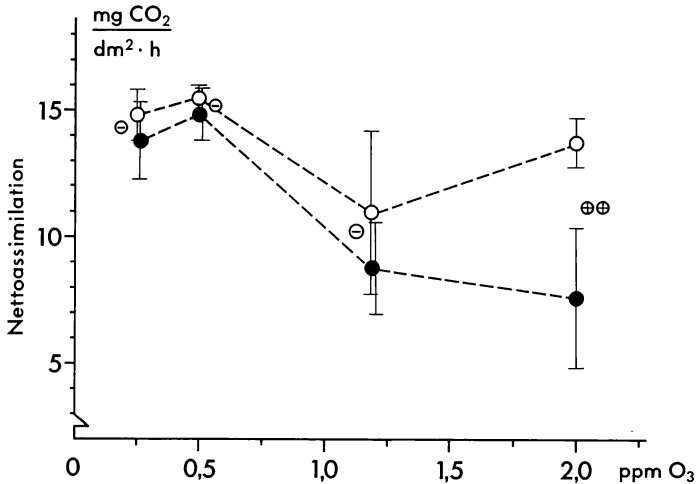


Abb. 1: CO<sub>2</sub>-Nettoassimilationsraten von *Nicotiana tabacum* Bel W-3-Blättern vor und nach 1-stündiger Begasung mit Ozon (O<sub>3</sub>) in abgestuften Konzentrationen.

Offene Symbole: mittlere Raten vor der Begasung;  
ausgefüllte Symbole: mittlere Raten nach der Begasung;  
⊖ : Unterschied nicht signifikant  
⊕⊕ : Unterschied gut signifikant.

### 3. Ergebnisse

In der Abb. 1 sind alle CO<sub>2</sub>-Nettoassimilationsraten der Tabakblätter vor der Begasung - gemittelt über die gesamte Meßzeit - den mittleren Raten nach der einstündigen Begasung gegenübergestellt. Bis zu einer O<sub>3</sub>-Konzentration von 1.2 ppm läßt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Nettophotosyntheseraten der Blätter vor und nach der Begasung feststellen. Erst nach Einwirkung von 2 ppm O<sub>3</sub> wird durchschnittlich ungefähr 45% weniger CO<sub>2</sub> festgehalten. An den gleichzeitig ermittelten Transpirationsraten zeigt sich in keinem Fall ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten vor und nach der O<sub>3</sub>-Begasung (Abb. 2). Die Streuungen um die Mittelwerte und die Schwankungen im Gesamtniveau sind größtenteils auf individuelle Unterschiede zwischen den Pflanzen zurückzuführen. Stellvertretend für alle Meßgänge, aus denen die Mittelwerte in Abb. 2 gewonnen worden sind, ist ein Meßdurchgang bei Begasung mit 2 ppm in Abb. 3 detailliert dargestellt: Ein nach der Begasung erniedrigtes CO<sub>2</sub>-Nettoassimilationsniveau, wie es hier auch noch sechs Stunden nach der O<sub>3</sub>-Einwirkung deutlich ist, kann nur bei der höchsten O<sub>3</sub>-Belastung dieser Untersuchung (2 ppm, 1.25 Stunden lang) beobachtet werden. Bei den übrigen drei Begasungsstufen liegen die Werte vor und nach der O<sub>3</sub>-Einwirkung etwa auf gleichem Niveau. Auf Einzeldarstellungen ist deshalb verzichtet worden. Die Transpiration verläuft in vielen Fällen wie auch im dargestellten Beispiel (Abb. 3) parallel zur CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation. Nach dem starken Rückgang bei 2 ppm O<sub>3</sub>-Einwirkung erholt sich die Photosynthese am darauffolgenden Tag wieder deutlich, erreicht aber bis zum Ende der Meßperiode (7 Uhr) nicht wieder das Niveau vor der Begasung (Abb. 3). Im Gegensatz dazu steigen die Transpirationsraten nach der nächtlichen Dunkelphase viel schneller an als die CO<sub>2</sub>-Nettoassimilationsraten, und schon etwa 2.5 h nach Einschalten der Strahlungsquelle ist das Ausgangsniveau des Vortages wieder erreicht.

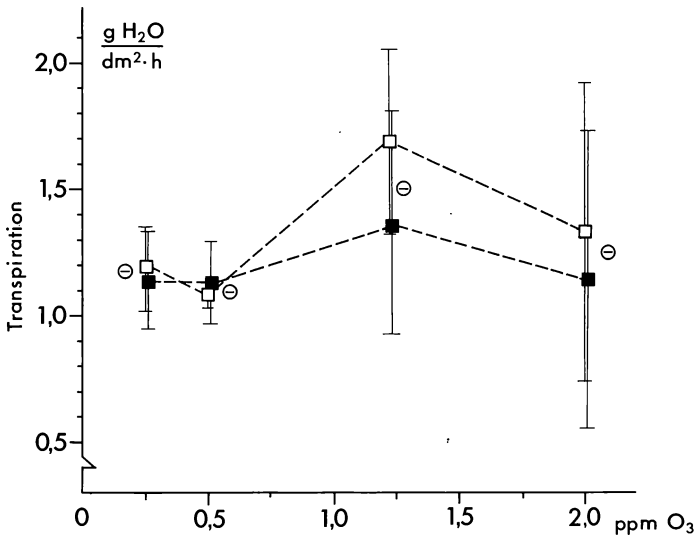


Abb. 2: Transpirationsraten von *Nicotiana tabacum* L. Bel W-3-Blättern vor und nach 1-stündiger Begasung mit Ozon (O<sub>3</sub>) in abgestuften Konzentrationen.

Offene Symbole: mittlere Raten vor der Begasung;  
 ausgefüllte Symbole: mittlere Raten nach der Begasung;  
 ⊖ : Unterschied nicht signifikant.

Bei Begasung (2 h) mit 0.3 und 0.5 ppm O<sub>3</sub> nehmen auch bei den meisten der untersuchten Bohnen die CO<sub>2</sub>-Nettoassimilationsraten zunächst kurzfristig ab (vgl. Abb. 4). In vielen Fällen tritt nach 10-15 Stunden eine Erholung ein, die vollständig oder unvollständig sein kann (s.u.). Auf zweistündige Begasung mit 0.5 ppm reagieren 2 der 7 untersuchten Bohnenblätter nicht; die übrigen erreichen ca. 18 h nach der Begasung 60-70% des Ausgangswertes der CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation vor der Begasung. Bei zweistündiger Einwirkung von 0.3 ppm O<sub>3</sub> zeigen ebenfalls 2 Blätter weder eine Zu- noch eine Abnahme der CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation, 4 erreichen nach ca. 15 h wieder 80-100% ihrer Ausgangsleistung, und 2 erholen sich nur unvollständig (60-70% des Ausgangsniveaus). Aus dem Vergleich der Gesamtmittelwerte ergibt sich, daß im Meßzeitraum nach zweistündiger Begasung mit 0.5 ppm O<sub>3</sub> um 40% und bei 0.3 ppm um 25% weniger CO<sub>2</sub> assimiliert worden ist (vgl. schraffierte Säulen in Abb. 4). Die Unterschiede sind in beiden Fällen gut signifikant ( $t_1 = 4.98, p < 0.01; t_2 = 2.78, p < 0.01$ ).

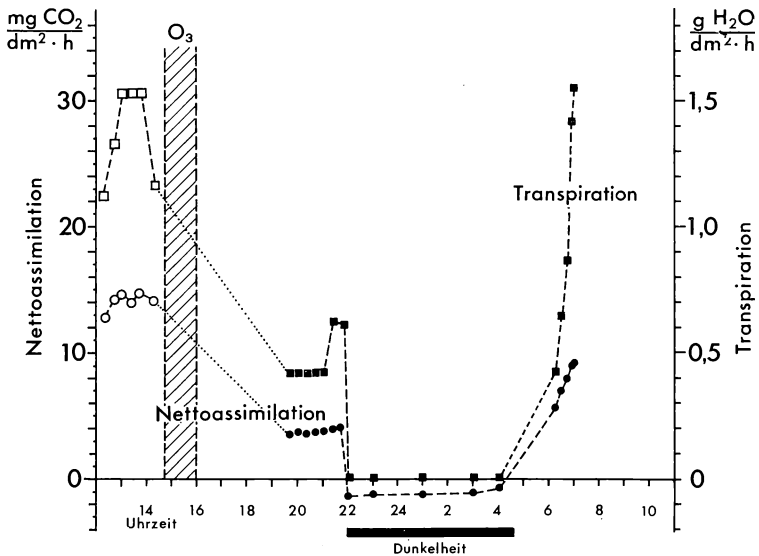


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation und Transpiration eines *Nicotiana tabacum* L. Bel W-3-Blattes vor und nach 75minütiger Begasung mit 2 ppm Ozon (O<sub>3</sub>).

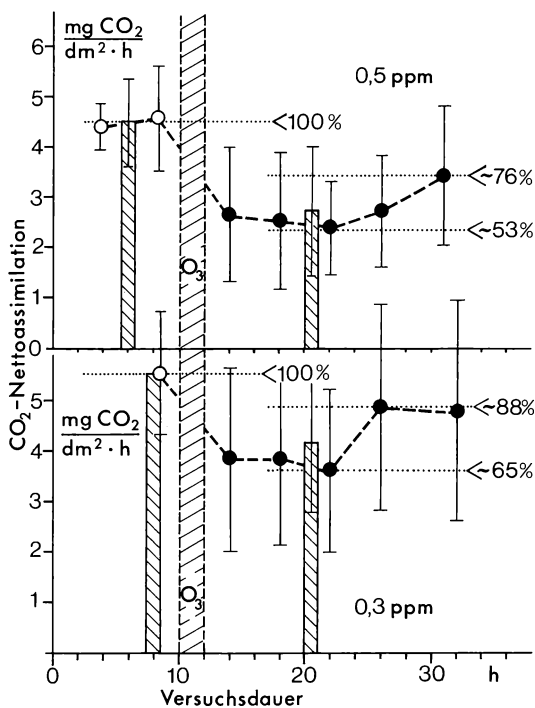


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation von *Phaseolus vulgaris* L. var. *saxa*-Blättern vor und nach 2-stündiger Begasung mit 0.5 (oben) und 0.3 ppm Ozon (unten).  
 Symbole: über jeweils 4-6 Stunden gemittelte Werte;  
 schraffierte Säulen: Mittelwerte für jeweils die gesamte Zeit vor und nach der Begasung.

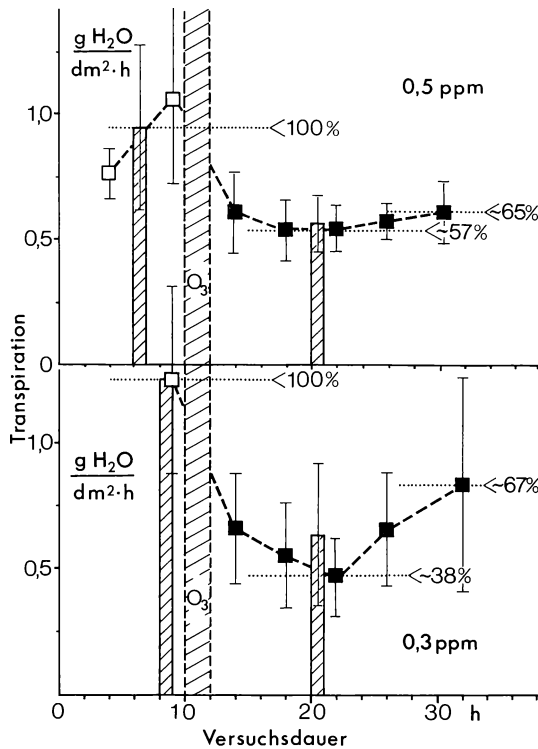


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Transpiration von *Phaseolus vulgaris* L. var. *saxa*-Blättern vor und nach 2-stündiger Begasung mit 0.5 (oben) und 0.3 ppm Ozon (unten).  
 Symbole: Mittelwerte für jeweils 4-6 Stunden;  
 schraffierte Säulen: Mittelwerte für jeweils die gesamte Zeit vor und nach der Begasung.

Der zeitliche Verlauf der Transpiration ist in Abb. 5 dargestellt. Die Mittelwerte zeigen, daß die Transpiration bei beiden O<sub>3</sub>-Konzentrationen nach der Begasung etwa parallel zur CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation abnimmt. Allerdings erholt sich die Transpiration innerhalb der Meßzeiträume sowohl bei 0.5 ppm als auch bei 0.3 ppm O<sub>3</sub> (Begasungsdauer: 2 h) nicht so stark wie die CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation (vgl. Abb. 5); das Ausgangsniveau wird nicht mehr erreicht. Mittelt man die Transpirationsraten vor der zweistündigen Begasung und vergleicht diese Werte mit den Mittelwerten aus allen Werten nach der Begasung, so ergibt sich, daß die Transpiration nach 0.5 ppm O<sub>3</sub>-Einwirkung um 41% und nach 0.3 ppm O<sub>3</sub> um 39% zurückgegangen ist (vgl. schraffierte Säulen in Abb. 5). Die Unterschiede sind in beiden Fällen gut signifikant ( $t_1 = 6.32, p < 0.01; t_2 = 7.75, p < 0.01$ ).

Die CO<sub>2</sub>-Verluste durch Atmung während der Dunkelphase schwanken von Individuum zu Individuum stark. Es läßt sich daher nicht erkennen, ob die Dunkelatemungsraten mit der Intensität der Begasung korreliert sind (Tab. 1). Entsprechend schwanken die Transpirationsraten; es läßt sich aber bei der Transpiration in der Dunkelphase zeigen, daß sie eindeutig von der O<sub>3</sub>-Entwicklung beeinflusst wird.

#### 4. Diskussion

Wie MILLER et al. (1969) an dreijährigen *Ponderosa*-Kiefern zeigen konnten, ist eine Frühindikation von Ozonschäden möglich, wenn man die "apparente" Photosynthese mißt. Auch bei unseren Versuchen fiel die Leistung der Photosynthese ab, lange bevor chlorotische Flecken sichtbar wurden. Wenn das Schadgas in einer Konzentration von 0.6 ppm nur eine Stunde lang einwirkt, kann die CO<sub>2</sub>-Fixierungsrate bei Zitronen-(Limonen-) Blättern schon deutlich zurückgehen, während für O<sub>3</sub> charakteristische Nekrosen bei gleicher Konzentration erst nach einer mehrere Tage andauernden, siebenstündigen Begasung auftreten (TAYLOR et al., 1961). Dementsprechend zeigten auch unsere Versuchspflanzen Reaktionen bei der CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation bereits nach sehr kurzen Begasungszeiten (etwa 1 Stunde).

Die Schadgaskonzentrationen unseres Versuchs haben wir teilweise an mittel- und westeuropäischen Verhältnissen orientiert. Hier scheinen an mehreren Tagen im Sommer Stundenmittelwerte um 0.2 ppm möglich zu sein (vgl. BRASSER et al. 1977; GEORGII et al. 1977; IXFELD 1977; OBLÄNDER, SIEGEL 1977). Allerdings können auch bei uns die O<sub>3</sub>-Konzentrationen gelegentlich in den Mittagsstunden bei stärkerer Sonneneinstrahlung sehr schnell auf Werte um 0.5 ppm ansteigen, die dann z.T. bis in den Nachmittag hinein konstant bleiben. Wir haben daher mit O<sub>3</sub>-Konzentrationen  $\leq$  0.5 ppm gearbeitet.

Dabei zeigte sich, daß eine zweistündige Begasung mit 0.3 ppm Ozon ausreicht, um die Photosynthese der sehr empfindlichen, jungen Bohne (*Phaseolus vulgaris* var. *saxa*) nachhaltig zu stören. Der Schwellenwert liegt für diese Pflanze noch niedriger als 0.3 ppm (während 2 h) und damit weit unter dem Wert von 0.5 ppm (während 4 h), den BOTKIN et al. (1972) für junge *Pinus strobus* L.-Bäume ermittelt haben. Die von uns untersuchten Blätter einer ausgewachsenen Tabakpflanze erwiesen sich als unempfindlicher als die jungen Blätter der Bohne; bei Vergleichlichen gleichaltriger Pflanzen reagierte die Tabaksorte Bel W-3 allerdings stets empfindlicher als die Bohne. Altersunterschiede beeinflussen die Empfindlichkeit vieler Pflanzen entscheidend. Auch für einige amerikanische *Pinus*-Arten gilt, daß zweijährige Nadeln auf Ozon stärker reagieren als mehrjährige. Bei diesen Kiefern wurde nicht nur die Photosynthese schwächer, wenn O<sub>3</sub> in Konzentrationen von 0.5 - 0.15 ppm 5-18 Wochen lang eingewirkt hatte, sondern gleichzeitig wurde auch die Dunkelatmung stärker (BARNES 1972). Dies ließ sich bei unseren Versuchen nicht bestätigen. Kurzfristige Begasungen, wie wir sie vorgenommen haben, reichten bei unseren beiden krautigen Versuchspflanzen nicht aus, um die Dunkelatmung deutlich zu beeinflussen (Tab. 1).

Tab. 1: CO<sub>2</sub>-Dunkelatmung und Transpiration bei Dunkelheit von *Phaseolus vulgaris* L.- und *Nicotiana tabacum* L. Bel W-3-Blättern vor (A) und nach (B) der Begasung mit abgestuften Ozongehalten der Umgebungsluft.

CO <sub>2</sub> -Dunkelatmung (mg CO <sub>2</sub> · dm <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> )									
Art	<i>Phaseolus vulgaris</i> L. var. <i>saxa</i>			<i>Nicotiana tabacum</i> L. Bel W-3					
ppm O <sub>3</sub>	0.3	0.5	$\bar{x}$	0.25	0.5	1.2	2.0	$\bar{x}$	
A	-0.86	-0.92	-0.89 ± 0.04	-1.14	-0.82	-1.84	-1.83	-1.41 ± 0.51	
B	-0.88	-0.97	-0.93 ± 0.06	-0.86	-0.83	-2.32	-1.19	-1.3 ± 0.7	
Transpiration bei Dunkelheit (mg H <sub>2</sub> O · dm <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> )									
A	418	319	369 ± 70	74	72	268	104	130 ± 95	
B	367	282	326 ± 60	144	36	402	207	197 ± 154	

Die Wirkung des O<sub>3</sub> auf die Nettphotosynthese war bei unseren Versuchen reversibel; d.h. eine kurzfristige O<sub>3</sub>-Begasung führte zwar zu einem augenblicklichen Rückgang der Photosynthese, die Pflanzen konnten sich aber spätestens zehn Stunden danach wieder weitgehend erholt haben (vgl. Abb. 3-5). HILL, LITTLEFIELD (1969) konnten diese Erholung bei Gerste und Hafer nach 45- bis 65-minütiger Begasung mit 0.5 - 0.6 ppm O<sub>3</sub> schon nach ca. 2 Stunden beobachten. Man kann sich vorstellen, daß durch O<sub>3</sub> geschädigte Enzyme sich allmählich regenerieren, wenn die Schadgasbelastung aufhört und infolgedessen die Photosyntheseleistung wieder ansteigt. Andererseits könnte es auch sein, daß sich lediglich die Stomata unter Einwirkung von O<sub>3</sub> schließen und nach einiger Zeit wieder öffnen. Die letzte These ließe sich stützen, wenn sich die Transpiration parallel zur CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation verhielte. TODD, PROBST (1963) fanden bei *Coleus* und Tomate, daß diese beiden Vorgänge durchaus nicht immer ganz parallel verlaufen (z.B. bei 1.2 ppm während 1 h) und schlossen daraus, daß Rückgang und anschließende Erholung der CO<sub>2</sub>-Nettoassimilation nicht nur den Spaltöffnungszustand widerspiegeln. Bei unseren Untersuchungen zeigten Transpirations- und CO<sub>2</sub>-Nettoassimilationsraten im Mittel vor allem bei *Phaseolus vulgaris* var. *saxa* sehr ähnliche Tendenzen (vgl. Abb. 4 und 5), so daß angenommen werden muß, daß bei den von uns gewählten O<sub>3</sub>-Konzentrationen und Begasungszeiten der Spaltöffnungszustand die Höhe der Raten beeinflusst hat.

## Literatur

- BARNES R.L., 1972: Effects of chronic exposure to ozone on photosynthesis and respiration of pines. Environ.-Pollut. 3: 133-138.
- BJÖRN L.O., 1975: Photobiologie. Stuttgart.
- BOTKIN D.B., SMITH W.H., CARLSON R.W., SMITH Th.L., 1972: Effects of ozone on white pine saplings: Variation in inhibition and recovery of net photosynthesis. Environ.-Pollut. 3: 273-289.
- BASSER L.J., GUICHERIT R., HUYGEN C., 1977: The occurrence of photochemical smog formation in Western Europe. VDI-Berichte 270: 25-32.
- GEORGII H.-W., FRICKE W., RUDOLF W., DEIMEL M., BECKER K.H., SCHURATH U., 1977: Bildung und Transport von Photooxidantien im Raum Bonn-Köln und Frankfurt/M. VDI-Berichte 270: 19-24.
- HAAGEN-SMIT A.J., DARLEY E.F., ZAITLIN M., HULL H., NOBEL W., 1952: Investigation on injury to plants from air pollution in the Los Angeles area. Plant Physiol. 27: 18-34.
- HEATH R.L., 1975: Ozone. In: (Ed. MUDD J.B., KOZLOWSKI T.T.) Responses of plants to air pollution. New York/San Francisco/London (Akad. Press).
- HILL A.C., LITTLEFIELD N., 1969: Ozone. Effect on apparent photosynthesis, rate of transpiration, and stomatal closure in plants. Env. Sc. Technology 3: 52-56.
- IXFELD H., 1977: Weiträumige Immissionsbelastung des Ballungsgebietes Rhein-Ruhr durch Oxidantien-Vorläufer. VDI-Berichte 270: 63-68.
- KOCH W., KLEIN E., WALZ H., 1968: Neuartige Gaswechselmeßanlage für Pflanzen in Laboratorien und Freiland. Siemens Z. 42: 392-404.
- LANGE O.L., SCHULZE E.-D., 1971: A. Measurement of CO<sub>2</sub> gas exchange and transpiration in the beech (*Fagus silvatica* L.). Ecol. Stud. 2: 16-28.
- MILLER P.R., PARMETER J.R., FLICK B.H., MARTINEZ C.W., 1969: Ozone dosage response of ponderosa pine seedlings. J. Air Poll. Control Ass. 19: 435-438.
- OBLÄNDER W., SIEGEL D., 1977: Ergebnisse der Außenluftmessung von Ozon und Kohlenwasserstoffen in Baden-Württemberg. VDI-Berichte 270: 57-61.
- RUDOLPH E., 1977: Überwachung der Luftqualität in München mit ausgewählten Testpflanzen. VDI-Berichte 270: 175-177
- SEIFERT B., WAGNER H.M., PRESS H., 1976: Vergleich von Meßverfahren zur Bestimmung von Ozon. Gesundheits-Ing. 97: 225-228.
- SCHOLL G., HAUT H. van, 1977: Erhebungen mit standardisierten Pflanzenkulturen über Belastungen durch Photo-Oxidantien im Rhein-Ruhr-Gebiet (Kurzmitteilung). VDI-Berichte 270: 179-190.
- TAYLOR O.C., DUGGER W.M., THOMAS M.D., THOMPSON C.R., 1961: Effect of atmospheric oxidants on apparent photosynthesis in citrus trees. Plant Physiol. 36: 17.
- TODD G.W., PROBST B., 1963: Changes in transpiration and photosynthetic rates of various leaves during treatment with ozonated hexene or ozone gas. Physiol. Plant. 16: 57-65.

## Adressen

Privatdoz. Dr. Dieter Overdieck  
FB 5 (Biologie/Ökologie)  
Universität Osnabrück  
Albrechtstr. 16  
D-4500 Osnabrück

Andreas Faensen-Thiebes  
Inst. f. Ökologie (Botanik)  
TU Berlin  
Rothenburgstr. 12  
D-1000 Berlin 41

# 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: 1981

Band/Volume: [9\\_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Overdieck Dieter, Faensen-Thiebes Andreas

Artikel/Article: [Wirkungen von Ozon auf CO<sub>2</sub>-Gaswechsel und Transpiration bei \*Nicotiana tabacum\* L. Bel W-3 und \*Phaseolus vulgaris\* L. var. \*saxa\* 269-275](#)