Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 133 (1996): 87-106

Photosyntheseleistung von Stadtpflanzen

Kurt EISINGER

Die Photosyntheseleistung verschiedener Stadtpflanzen wurde an drei Standorten, die sich in unterschiedlichen Zonen der „Wärmeinsel" Wien befinden, im Jahresverlauf untersucht. Dabei wurden sowohl die verschiedenen Pflanzen miteinander als auch für jede Art die Assimilation an den einzelnen Standorten verglichen.
Die Gehölze am Standort „Biberhaufenweg" erreichten die höchsten Photosynthese-, Transpirations- und integrierten Photosyntheseraten. Die produktivsten Pflanzen der jeweiligen Wuchsform waren *Buddleja davidii* FRANCH. und *Solidago* sp. L. Diese Arten transpirierten gleichzeitig am stärksten und waren auch im Herbst noch sehr produktiv. Die krautigen Pflanzen waren von Beginn der Produktionsperiode an sehr produktiv, die Gehölze erreichten erst im August hohe Photosyntheseraten. Am Standort „Schlachthausgasse" beeinträchtigte die Trockenheit im August die Photosyntheseleistung der Pflanzen stark.

EISINGER K., 1996: Photosynthesis of urban plants.
Photosynthesis of urban plants was examined on three derelict land sites in Vienna. Comparisons were made between the different plants on one site, between every species on the different locations, and between certain climatic features of the three sites.
Woody species at "Biberhaufenweg" showed the highest photosynthesis and transpiration rates throughout the year. *Buddleja davidii* FRANCH. was the most productive woody species, *Solidago* sp. L. the most productive herbaceous species. These two species also had the highest transpiration and were very productive even in autumn. Herbs showed high photosynthesis rates beginning in May, whereas most woody plants did not reach their maximum values before August. At the "Schlachthausgasse" site, soil drought drastically reduced photosynthesis rates in August. This drought stress decreased in September, enabling higher photosynthesis rates.

Keywords: urban plants, photosynthesis, carbon dioxide uptake.

Einleitung

Der Kohlenstoffkreislauf

Kohlenstoff stellt das zentrale Bauelement aller Lebewesen dar — bezogen auf die Trockensubstanz bestehen Pflanzen zu 45 %, Säugetiere sogar zu 48 % aus Kohlenstoff (JÖRGENSEN et al. 1991). Somit ist er das wichtigste Element in den natürlichen wie in den anthropogen verursachten Energieumsetzungen. Gerade in den letzteren Prozessen liegt die gegenwärtig

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

wahrgenommene Brisanz des Kohlenstoffes, die unter Schlagworten wie „Treibhauseffekt" oder „Global Warming" mittlerweile Eingang in den Alltagswortschatz gefunden hat.

Während die langfristige Bindung des Kohlenstoffes nur über limnische, marine und semiterrestrische Ökosysteme erfolgt (BURIAN 1979), richtet sich die öffentliche Aufmerksamkeit in den letzten Jahren zunehmend auf Möglichkeiten, den Anteil des Treibhausgases CO_2 in der Atmosphäre kurz- und mittelfristig zu senken bzw. dessen Anstieg zu begrenzen. Kohlendioxid stellt einen limitierenden Faktor für die Photosynthese dar (HOFFMANN 1987), woraus umgekehrt geschlossen werden kann, daß höhere CO_2-Konzentrationen in der Luft eine Zunahme der Photosynthese bewirken. Pflanzliche Biomasse, in der CO_2 letztlich gebunden vorliegt, wird folglich als mögliche „Senke" angesehen, das die wachsenden CO_2-Emissionen aufnimmt bzw. regelrecht „verschluckt" Allerdings handelt es sich bei einem Ökosystem, das zu seiner Entwicklung Jahrmillionen benötigt hat, nicht um eine Gleichung einfacher additiver chemischer Reaktionen; vielmehr sind zahlreiche Neben- und Wechselwirkungen zu beachten (etwa Wasser- und Nährstoffhaushalt der Pflanzen, Temperaturänderungen, Auswirkungen auf den Tierfraß, Wanderungsbewegungen, Konkurrenzverschiebungen...), die zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht ausreichend untersucht sind, um tatsächlich zu verläßlichen Aussagen über die Folgen des Treibhauseffektes für die Photosyntheseleistung der Pflanzen zu gelangen. Einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis der Ökosysteme kann die Kenntnis des gesamten photosynthetischen Verhaltens bzw. der entsprechenden quantitativen Leistungen der Pflanze liefern.

Die Stadt als Pflanzenstandort

Das vom Menschen geschaffene „Ökosystem Stadt" prägt die in ihm lebende Flora vor allem in klimatischer Hinsicht sehr stark.

Wie die meisten Großstädte weist Wien einen sogenannten „Wärmeinseleffekt" auf. Das heißt: die Kombination von Gebäudekonzentration und menschlicher Aktivität — auf die auch die Entstehung der industriellen Abwärme und die Verbrennung fossiler Energieträger zurückgeht — führt dazu, daß im Stadtzentrum weniger langwellige Strahlung abgegeben als aufgenommen wird und infolgedessen hier eine höhere Temperatur als in den städtischen Randbereichen vorliegt. In Wien kann diese Temperaturdifferenz in der Nacht je nach Wetterlage und Jahreszeit bis zu 13°C betragen (AUER et al. 1989). Diese Temperaturverhältnisse begünstigen die Etablierung wärmeliebender Arten in der Stadt, insbesondere von Arten aus wärmeren

 Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Gebieten (Neophyten) wie *Ailanthus altissima* (MILL.) SWINGLE, *Buddleja davidii* FRANCH. und *Solidago canadensis* L. Infolge der Luftverschmutzung haben schadstoffresistente Pflanzenarten Konkurrenzvorteile, auch trittresistente Arten können in Städten buchstäblich eher Fuß fassen. Typische Stadtpflanzen sind nach WITTIG (1991) lichtliebende, wärmeliebende Pflanzen, deren Amplitude in bezug auf Bodenreaktion und Stickstoff in Richtung höherer Werte und jene für die Feuchtigkeit in den trockeneren Bereich verschoben ist.

Fragestellungen

Da es bislang noch wenige ökologische Untersuchungen über das Photosyntheseverhalten von Stadtpflanzen gibt, erschien die Bearbeitung folgender Fragestellungen sinnvoll:

- Gibt es Auswirkungen des Stadtklimas einer Großstadt auf die Photosyntheseleistung von Pflanzen?
- Wie verhalten sich unterschiedliche Stadtpflanzen in ihrer Photosyntheseleistung?
- Wie stark wirken sich Standortsunterschiede auf den CO_2-Gaswechsel einer Pflanzenart aus?

Material und Methoden

Die Untersuchungsflächen

Um typische Stadtpflanzen zu untersuchen, wurden Brachflächen als Untersuchungsflächen herangezogen, da sich auf ihnen eine Spontanvegetation am besten entwickeln kann. Diese Flächen sollten in unterschiedlichen Bereichen der „Wärmeinsel Stadt" liegen. Zusätzlich erschien es sinnvoll, Brachen unterschiedlicher Größe (somit auch differierender mikroklimatischer Auswirkungen) bzw. unterschiedlichen Typs zu finden. Folgende Brachflächen wurden für die Untersuchungen ausgewählt:

Biberhaufenweg (BHW): aufgelassener Acker, ca. 1 200 m², umgeben von Einfamilien- und Reihenhäusern. 22. Bezirk (Gst. 363/1, KG Aspern); im pannonisch geprägten Nordosten Wiens gelegen.
Durchschnittliche Lufttemperatur: 9,5-10°C.
Durchschnittlicher Niederschlag: 525-550 mm.

Grinzing (GRI): verwilderter Garten, ca. 9 000 m², umgeben von großzügig angelegten Einfamilienhäusern mit viel Grün. 19. Bezirk, Strassergas-

 © Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

se 9 (KG Grinzing, Gst. 419/5); im eher ozeanisch geprägten Wienerwald gelegen.
Durchschnittliche Lufttemperatur: 9-9,5°C.
Durchschnittlicher Niederschlag: 600-700 mm.

Schlachthausgasse (SHG): Industriebrache, ca. 55 000 m², liegt inmitten von dicht verbautem Industrie- und Wohngebiet. 3. Bezirk, Schlachthausgasse/Viehmarktgasse 1-3 (Gst. 1452/1, KG Landstraße); nahe dem Zentrum Wiens gelegen.
Durchschnittliche Lufttemperatur: 10-10,5°C.
Durchschnittlicher Niederschlag: 550-575 mm.

Die ausgewählten Arten

Es wurden folgende, für die Stadtvegetation typische Arten ausgesucht:

Acer pseudoplatanus L.	*Erigeron annuus* L.
Ailanthus altissima (MILL.) SWINGLE	*Sambucus nigra* L.
Aster novi-belgii agg.	*S. canadensis* L.
Buddleja davidii FRANCH.	*S. gigantea* L.
Clematis vitalba L.	*Urtica dioica* L.

Von einer Messung der Baumschicht mußte aus technischen Gründen abgesehen werden, da sich aussagekräftige Werte nur unter hohem technischen Aufwand erzielen lassen. Anstatt dessen wurden jüngere Bäume ausgesucht.

Photosynthesemessungen

Zur Messung der Nettophotosyntheserate wurde ein tragbarer Infrarot-Gasanalysator der Firma ADC (Analytical Development Co. Ltd.) verwendet. Gemessen wurde im offenen System. Bei dieser Methode wird ein Luftstrom mit konstanter CO_2-Konzentration während der Messung über das Blatt geleitet. Dieses nimmt eine gewisse Menge des Gases auf. Die Luft strömt nach Passieren der Meßkammer an deren hinterem Ende frei aus.

Die Messungen erstreckten sich über die gesamte Produktionsperiode des Jahres 1995.

Meßparameter

Um für die Photosynthesemessungen möglichst typische (d.h. repräsentative) Ergebnisse zu erhalten, ist die Wahl des Blattes von entscheidender Bedeu-

 Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

tung. Stets wurde ein und dasselbe Blatt über die gesamte Vegetationsperiode verwendet. Da Sonnenblätter andere Photosyntheseleistungen zeigen als Schattenblätter, wurden standardisiert südexponierte Sonnenblätter zur Untersuchung herangezogen. Die einzige Ausnahme bildeten *Ailanthus altissima* und *Clematis vitalba* am Standort Schlachthausgasse, bei denen aus meßtechnischen Gründen ein westexponiertes bzw. ein Halbschattenblatt verwendet wurde.

Weiters wurden folgende Parameter festgehalten: Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden mit einem Thermohygrometer der Fa. Testoterm, Type 6010 gemessen. Die PAR-Strahlung (d.h. der Wellenlängenbereich zwischen 380 und 740 nm) wurde als Photonenstromdichte mit einem Quantum-Radiometer/Photometer der Fa. LI-COR, Type LI 185 gemessen. Der Blattflächenindex (LAI = leaf area index), definiert als die Blattfläche pro Bodenfläche, wurde mit einem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer der Firma LI-COR photometrisch bestimmt.

Um Vergleiche der über einen Tag erbrachten Photosyntheseleistungen anstellen zu können, wurden integrierte Photosyntheseraten für den jeweiligen gesamten Meßtag errechnet. Diese geben die gesamte CO_2-Aufnahme der Pflanzen während eines standardisierten Zeitraumes wieder.

Ergebnisse und Diskussion

Vergleich der Standorte

Eine Frage behandelte die Auswirkung der Wärmeinsel Wien auf das Photosyntheseverhalten der Pflanzen. Deshalb sollten an den Vergleichsterminen möglichst gleiche klimatische Bedingungen herrschen. Um exakt vergleichbare Daten zu erhalten, wären simultane Messungen notwendig gewesen. Da jedoch das primäre Ziel dieser Arbeit nicht darin bestand, Klimadaten für das Wärmeinselkonzept zu liefern, erschien es ausreichend, die Messungen jeweils an drei aufeinanderfolgenden Tagen vorzunehmen. Zwar kann sich die Großklimalage in einer solchen Zeitspanne leicht verändern, doch ist zu bedenken, daß edaphische, mikroklimatische, vor allem aber vegetationsstrukturelle Parameter einen zumindest ebenso großen Einfluß auf das Standortklima haben wie großklimatische Faktoren. Der Deckungsgrad der Vegetation wirkt sich in großem Maße auf mikroklimatische Gegebenheiten an einem bestimmten Standort aus, ebenso die Art der Deckung (Baum-, Strauch- oder Krautschicht) (DÖRFLINGER 1995). Es sei auch betont, daß sich die vorgenommenen Messungen lediglich auf den Tag beschränkten.

 © Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die größten Temperaturunterschiede der „Wärmeinsel Wien" treten demgegenüber in den Nächten auf, wenn die Ausstrahlung in den Randbereichen der Stadt weitaus höher ist als im Zentrum (AUER et al. 1989). Vermutlich ergäben sich durch Miteinbeziehung der Nächte weitere Aspekte aus den klimabezogenen Aussagen. Dennoch können aus den Ergebnissen Trends abgelesen werden. Anhand der Abbildung 1 werden die Tagesgänge der klimatischen Parameter beispielhaft für die Meßperiode vom 11. bis 12.9. 1995 dargestellt.

Die verglichenen PAR-Strahlungsdaten zeigen, daß an den Meßtagen sehr ähnliche Voraussetzungen für die Photosynthese der Pflanzen vorlagen.

Die Lufttemperatur war am Standort Biberhaufenweg etwas höher als in der Schlachthausgasse. Am kühlsten war es, wie erwartet, in Grinzing. Letzteres wäre eine Bestätigung für die Theorie der Wärmeinsel, doch spricht die Tatsache, daß der der wärmste Standort am Biberhaufenweg lag, dagegen. AUER (1989) zeigt jedoch anhand des Wiener Rathausparkes auf, daß größere Grünflächen im bebauten Gebiet stadtrandähnliche Bedingungen aufweisen können, was die klimatischen Gegebenheiten betrifft. Diese Flächen beeinflussen das Klima ihrer Umgebung, indem sie aufgrund der Strahlungsabsorption der Vegetation und der damit verbundenen Limitierung der Bodentemperatur die langwellige Emission verringern. Infolge vermehrter Transpiration werden Luftfeuchtigkeit und Konvektion erhöht. Auch VON STÜLPNAGEL et al. (1990) und SUKOPP & WITTIG (1993) weisen auf die klimapuffernde Wirkung größerer Grünflächen in Städten hin. Der Einfluß der innerstädtischen Grünflächen auf das Umgebungsklima steigt mit zunehmender Größe der vegetationsbedeckten Fläche bzw. mit zunehmendem Gehölzanteil. Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die Brachfläche „Schlachthausgasse", die mit etwa 5,5 ha für die Verhältnisse innerstädtischer Grünflächen relativ groß ist, nicht nur eine positive klimatische Wirkung auf die Umgebung ausübt, sondern sogar den Wärmeinseleffekt lokal auszugleichen vermag; zudem ist zu berücksichtigen, daß diese Fläche in einer wärmeren Stadtregion liegt als der Standort Biberhaufenweg, aber dennoch niedrigere Temperaturen aufweist als letzterer. Außerdem wurden die Messungen in der Mitte der Brachfläche durchgeführt, wo der größte Temperaturunterschied zur Umgebung herrscht. Je näher sich verbautes Gebiet befindet, desto höher sind die Temperaturen. Auch Messungen, die von MAIER et al. (1995) und DÖRFLINGER (1995) auf den Flächen Biberhaufenweg, Schlachthausgasse und einer weiteren Brache in der Nähe des Standortes Grinzing durchgeführt wurden, zeigten positive mikroklimatische Auswirkungen auf die Umgebung — vor allem jener in der Schlachthausgasse.

 Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die Luftfeuchtigkeitswerte liegen meist im gleichen Bereich. Allgemein ist jedoch der Standort Schlachthausgasse der trockenste. An der Differenz zwischen Maximum und Minimum ist zu erkennen, daß die Luft am Standort Biberhaufenweg im Laufe des Tages (aufgrund der zumeist größeren Erwärmung) stärker trocknet. Hierin weist der Standort Grinzing die geringsten Schwankungsbreiten auf.

Auffallenderweise wurden die höchsten CO_2-Konzentrationen in der Umgebungsluft am Standort Biberhaufenweg gemessen. Die höchsten Werte wurden für den Standort Schlachthausgasse erwartet, weil in dessen Nähe die Wiener „Südosttangente" verläuft und zudem hohe Emissionen aus der umliegenden Industriezone erwartet worden waren. Vermutlich ist jedoch die Flächengröße für das Ausmaß der pflanzlichen CO_2-Fixierung verantwortlich, in diesem Fall also für eine hohe CO_2-Fixierung durch die Vegetation. Der Standort Biberhaufenweg liegt zwar direkt an einer Durchzugsstraße, ist aber weitaus kleiner als die Fläche in der Schlachthausgasse. Weiterhin ist zu beachten, daß die Winde bevorzugt aus westlicher Richtung kommen; dies bedeutet, daß der im Nordosten Wiens befindliche Biberhaufenweg durch Emissionen insgesamt stärker belastet ist als das Zentrum Wiens. Die Kohlendioxidkonzentrationen nehmen allgemein im Laufe des Tages leicht ab, da die Pflanzenbestände der Luft durch die Photosynthesetätigkeit CO_2 entziehen (Abb. 1: unten). Die geringsten CO_2-Konzentrationen in der Luft finden sich in Grinzing.

Doch die Untersuchungsflächen weichen nicht nur hinsichtlich der Lage innerhalb der Stadt voneinander ab, auch die Bodeneigenschaften sind stark verschieden. Der Standort Biberhaufenweg liegt im ehemaligen Überschwemmungsgebiet der Donau, bei dessen Bodentyp handelt es sich um fruchtbaren ehemaligen Auboden. Aufgrund der Donaunähe und der geringen Seehöhe liegt ein relativ hoher Grundwasserspiegel vor. Die gute Wasserverfügbarkeit ist der Grund für die hohen Photosyntheseleistungen der holzigen Pflanzen an diesem Standort, auf die später noch eingegangen wird. Völlig anders dagegen sind die Verhältnisse in der „Schlachthausgasse", einem aufgelassenen Industriestandort. Hier konnte sich seit dem Schleifen des alten Schlachthauses auf dem Bauschutt lediglich ein dünner Bodenhorizont ausbilden, was im Spätsommer zu starkem Trockenstreß führte und sich somit in niedrigen Photosyntheseraten niederschlug. Auf der Brache in Grinzing dagegen dürfte vor langer Zeit eine Villa gestanden haben, ein gut ausgeprägter Boden (Hortisol) bezeugt dies. Hier waren die Pflanzen offenkundig keinem Trockenstreß ausgesetzt.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

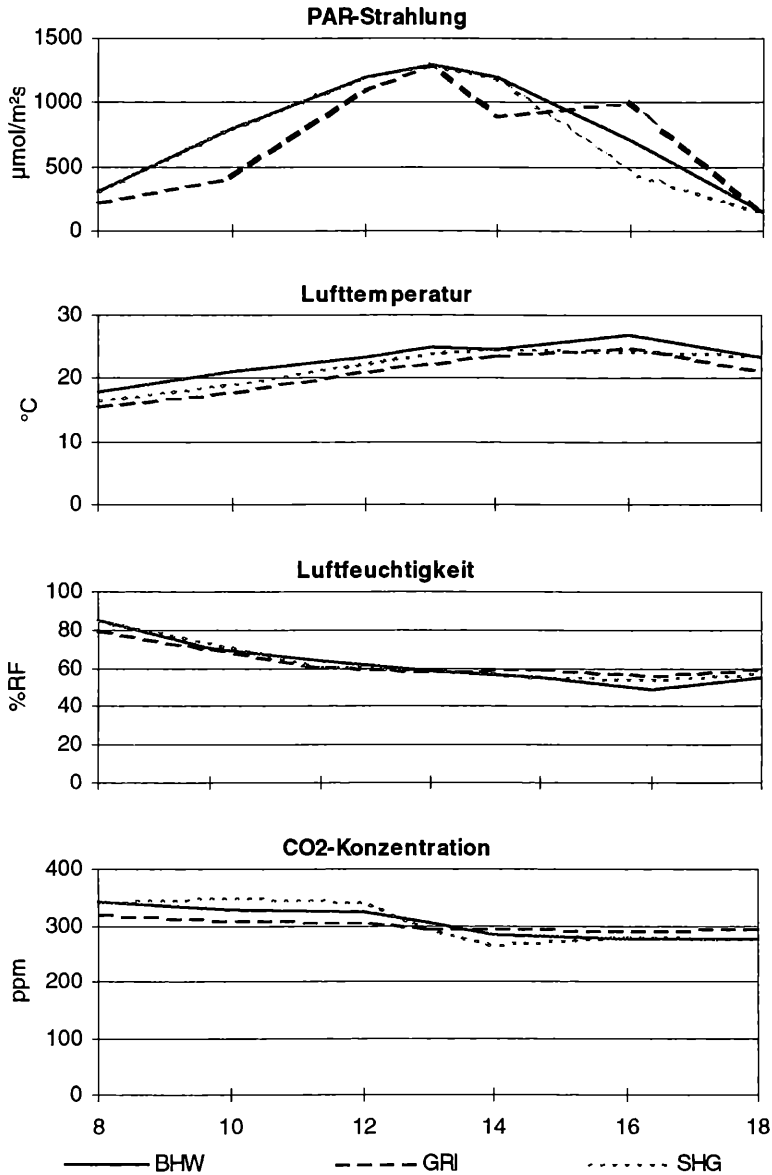

Abb. 1: Vergleich der PAR-Strahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und CO_2-Konzentration an den Standorten Biberhaufenweg (BHW), Grinzing (GRI) und Schlachthausgasse (SHG) für die Meßperiode 11.9.-12.9.1995. — Photosynthetic active radiation, air temperature, air humidity and CO_2 concentration at the sites Biberhaufenweg (BHW), Grinzing (GRI) and Schlachthausgasse (SHG) during the period 11.9.-12.9.1995.

 ©Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

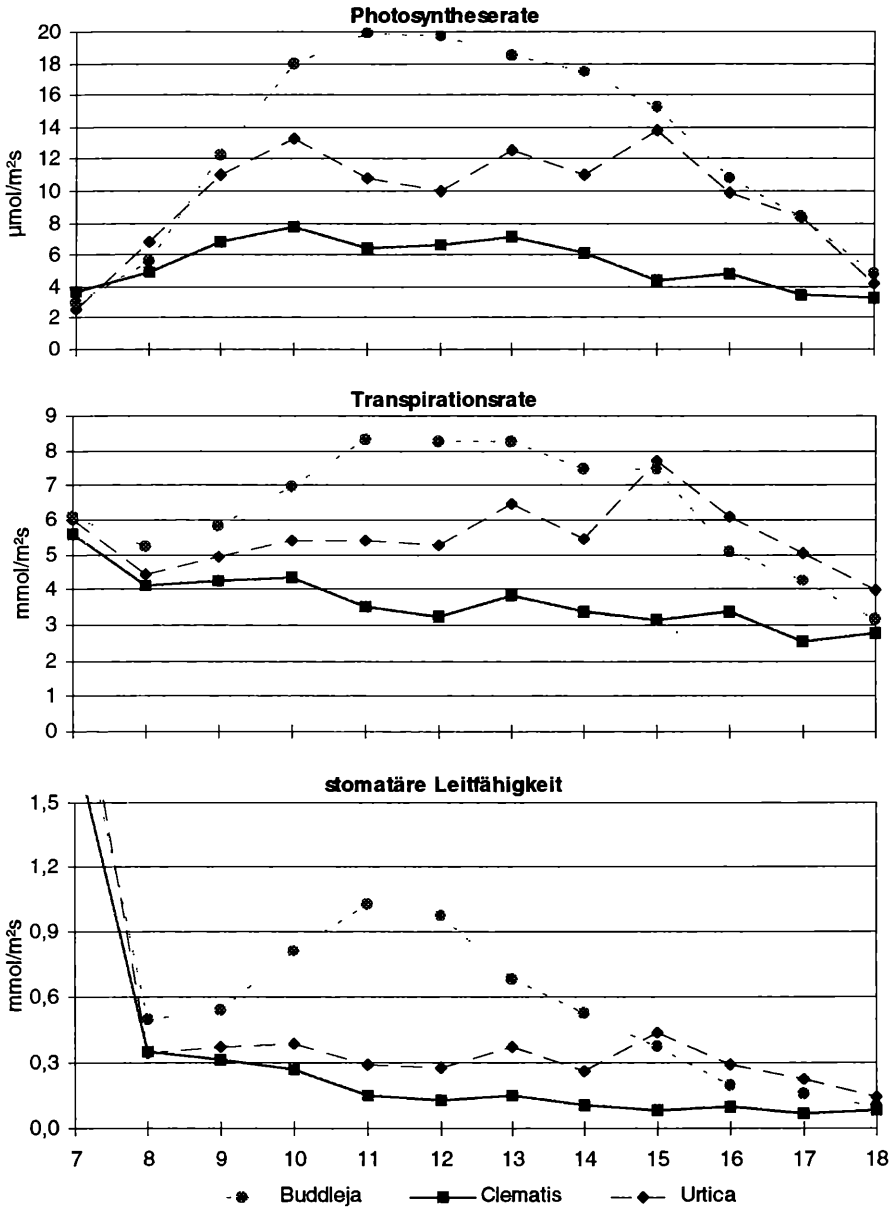

Abb. 2: Photosyntheserate, Transpiration und stomatäre Leitfähigkeit bei Pflanzen am Standort Schlachthausgasse vom 21.6.1995. — Photosynthesis rate (top), transpiration rate (middle) and stomatal conductance (bottom) of plants at Schlachthausgasse on 21.6.1995.

 © Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Der Vergleich der Blattflächenindizes der Krautschichten der drei Standorte zeigt, daß der Höchstwert am Standort Grinzing mit 6,3 etwa um die Hälfte höher liegt als an den Standorten Biberhaufenweg (4,4) und Schlachthausgasse (4,3). Bei den Waldstandorten sind die einzig wirklich vergleichbaren Standorte, nämlich Grinzing und Schlachthausgasse, mit 6,1 bzw. 6,2 ungefähr gleich strukturiert, obwohl die Artenzusammensetzung auf den beiden Flächen völlig unterschiedlich ist: In Grinzing überwiegen Auwaldgehölze wie *Salix* sp. L., *Fraxinus excelsior* L. und *Acer negundo* L., in der Schlachthausgasse hingegen trockenresistente Pionierbäume wie *Robinia pseudacacia* L., *Populus tremula* L. und *Betula pendula* ROTH.

Tagesgänge der Photosynthese

Buddleja davidii war das Gehölz mit den höchsten gemessenen Photosyntheseraten. Die bei ihr gemessene höchste Rate von 19,9 µmol/m²s stellte für alle untersuchten Pflanzen den absoluten Höchstwert dar. Der Sommerflieder behielt die Spaltöffnungen meist den ganzen Tag offen; dies hatte auch eine hohe Transpiration zur Folge. In Abbildung 2 ist ebenso zu erkennen, daß es sich bei dem am Standort Schlachthausgasse ausgewählten Blatt von *Clematis vitalba* um ein Halbschattenblatt handelt, da selbst *Urtica dioica,* ansonsten an allen Standorten die Art mit den niedrigsten Photosyntheseraten, höhere Fixierungsraten aufwies (an diesem Tag übrigens die höchsten der Art für alle Standorte während der gesamten Untersuchungsperiode).

Abbildung 2 deutet bereits an, daß die Beobachtung mehrerer Pflanzenarten über die Darstellung einzelner Tagesgänge an drei Standorten — und zudem im Verlauf einer vollen Produktionsperiode — den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Für die detaillierte Darstellung der Untersuchungsreihen sei auf EISINGER (1996) verwiesen. Rückschluß auf die CO_2-Assimilation während eines längeren Zeitraumes läßt die Umrechnung auf Tagesraten an aufgenommenen Kohlendioxid („integrierte Photosyntheseraten") zu. Diese Vorgangsweise bietet außerdem die Gewähr für die bessere Vergleichbarkeit zwischen den Leistungen der unterschiedlichen Pflanzen und zwischen der Photosyntheseaktivität an verschiedenen Terminen.

Jahresgänge der integrierten Photosyntheseraten

Beim Vergleich der integrierten Photosyntheseraten am Standort **Biberhaufenweg** fällt auf, daß die Gehölze im Jahresverlauf CO_2 am stärksten binden, ihre Aktivitätsmaxima allerdings erst langsam im Laufe der Produktionsperiode erreichen. Die guten Bedingungen für Gehölze an diesem Standort dürften in der Beschaffenheit des Bodens (ehemaliger Auboden) und in dem

 Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

relativ hohen Grundwasserstand liegen. Die höchsten Raten werden Anfang August erzielt. Ende August beginnen die Werte bereits wieder zu fallen, sicherlich aufgrund der abnehmenden Tageslänge, der sinkenden Temperaturen und wegen des alternden Photosyntheseapparats. Die krautigen Pflanzen weisen dagegen am Beginn der Produktionsperiode keine derartigen „Anlauf- oder Verzögerungseffekte" auf, sie nützen die beschränkte Zeit zur Produktion voll aus. So war bei *Erigeron annuus* die produktive Phase sehr kurz, weshalb die letzten Messungen an den Blättern des Berufkrautes bereits Anfang August erfolgten (Abb. 3 oben).

Am Standort **Grinzing** fallen im Jahresgang besonders die geringe photosynthetische Leistung von *Urtica dioica* und die frühen Maxima der beiden krautigen *Aster novi-belgii* agg. und *Solidago canadensis* auf. Diese beiden Arten erreichen bereits im Juni das Stadium ihrer höchsten Produktivität. Auch *Clematis vitalba* weist ihr Leistungsmaximum recht früh auf. Demgegenüber benötigt *Sambucus nigra* relativ viel Zeit bis zum Erlangen des Leistungsmaximums, das er über eine stetige Steigerung Anfang August erreicht. In Abbildung 3 (Mitte) läßt sich auch deutlich die drastische Aktivitätsabnahme an den letzten Terminen erkennen.

Am Standort **Schlachthausgasse** ist *Buddleja davidii* die produktivste Pflanze. *Sambucus nigra* benötigt wie an den beiden anderen Standorten einige Zeit, ehe sich hohe Photosyntheseraten einstellen, ebenso *Acer pseudoplatanus*. *Clematis vitalba* erreicht ihr Maximum auch hier relativ früh (3.8. 1995). Im Fall von *Ailanthus altissima,* der erst spät hohe Photosyntheseleistungen zeigt, ist zu berücksichtigen, daß alle Werte niedrig waren, weil ein westexponiertes Blatt (= Halbschatten) zur Messung ausgewählt worden war. *Urtica dioica* weist, wie auch in den Tagesgängen, starke Schwankungen auf (Abb. 3 unten).

Vergleich der Arten an den drei Standorten

Wie haben sich nun die einzelnen Pflanzenspezies an die spezifischen Gegebenheiten des jeweiligen Standortes angepaßt? Die geeignetsten Parameter für den entsprechenden zwischenartlichen Leistungsvergleich sind die integrierte Photosyntheserate und die Lichtsättigungskurve. Allerdings vermögen bei Freilanduntersuchungen erhaltene Lichtsättigungskurven lediglich grobe Trends widerzuspiegeln; sie lassen nicht eine eindeutige Zuordnung der Assimilationsrate zu einer definierten Lichtmenge zu.

Acer pseudoplatanus ist als klassisches Pioniergehölz unserer Breiten auf fast allen entsprechend lange ungenutzten Flächen zu finden. Da es sich bei den ausgewählten Pflanzen um Jungbäume handelt, können die Ergebnisse

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

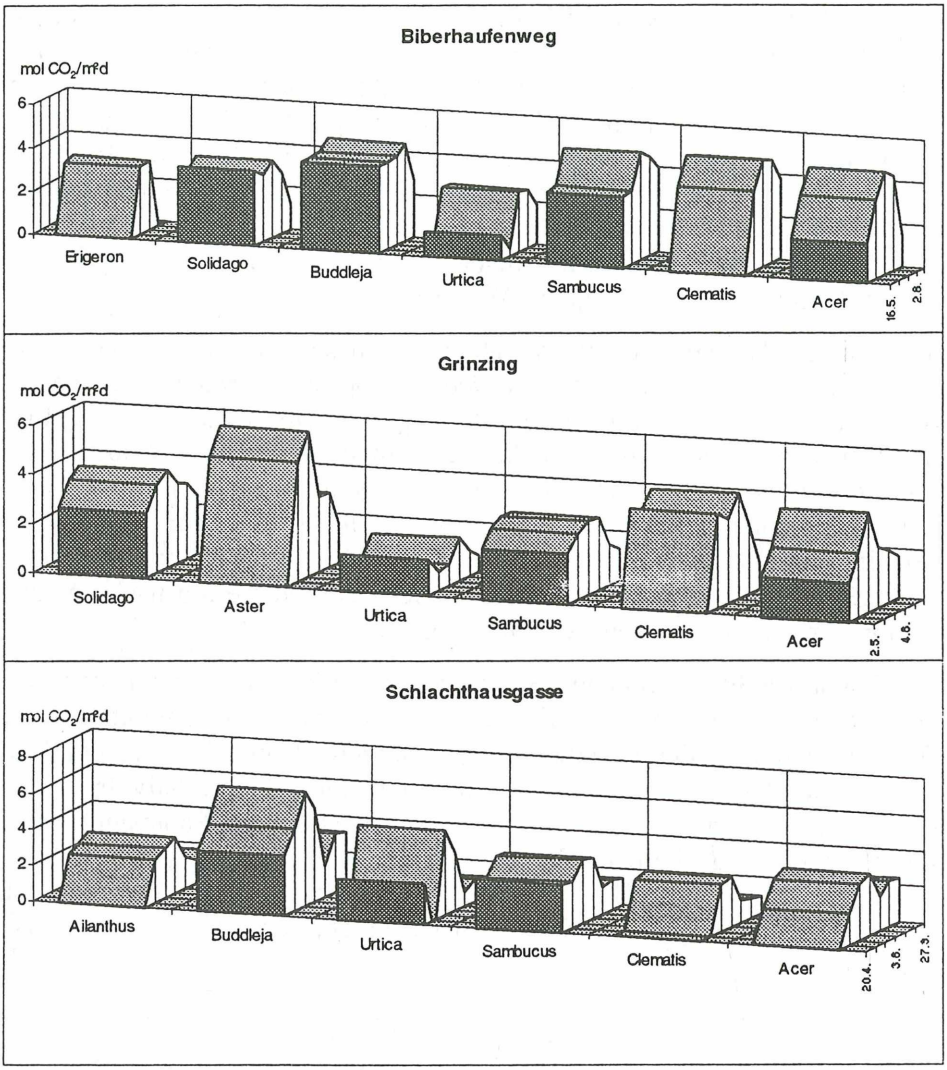

Abb. 3: Jahresgänge der integrierten Photosyntheseraten an den Standorten Biberhaufenweg, Grinzing und Schlachthausgasse. — Integrated photosynthesis rates at Biberhaufenweg (top), Grinzing (middle) and Schlachthausgasse (bottom) throughout the year.

nicht zwingend auf die Leistungen eines ausgewachsenen Baumes übertragen werden. Weiterhin ist hervorzuheben, daß fast nur gänzlich sonnenexponierte Blätter zur Messung herangezogen wurden, die Krone eines „echten" Baumes jedoch zu einem großen Teil aus Schattenblättern besteht. *Acer pseudoplatanus* erreicht am Standort Grinzing sehr früh seine höchste

 Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Produktivität (19.6.1995). An den beiden anderen Standorten wurde der höchste Wert erst Anfang August festgestellt. Seine mit Abstand höchsten Photosyntheseraten erreicht *Acer* am Standort Biberhaufenweg, und zwar beide Male im August. Demgegenüber tritt der Ahorn an diesem Standort an anderen Meßtagen zurück. Gegen Ende der Vegetationsperiode nehmen die Werte allgemein ab; da aber der Hitzestreß nicht mehr akut ist, nimmt die Photosyntheserate des Ahorns am Standort Schlachthausgasse sogar noch leicht zu (Abb. 4a). Seine höchste im Freiland gemessene CO_2-Assimilationsrate von 14,2 µmol/m²s reiht *Acer pseudoplatanus* in die Kategorie der Frühsukzessionsbäume ein, für deren Photosyntheseraten BAZZAZ (1979) eine Bandbreite von 10-26 µmol/m²s angibt. Der Bergahorn weist auf der Fläche Biberhaufenweg einen deutlich höheren Lichtkompensationspunkt auf als auf den beiden anderen Referenzflächen. Am Biberhaufenweg erreicht *Acer* auch seine mit Abstand höchsten Photosyntheseraten bei besserem Lichtangebot. Bei niedrigen Lichtwerten (etwa 200 µmol/m²s) weist die Art an allen Standorten ungefähr gleiche Assimilationsraten auf. Die niedrigste Lichtausbeute findet sich in Grinzing (Abb. 5a).

Buddleja davidii repräsentiert die produktivste Pflanze. Die höchste Fixierungsrate der Art findet sich ständig wechselnd zwischen den Vergleichsstandorten Biberhaufenweg und Schlachthausgasse. Während die Pflanze am Biberhaufenweg meist um 4 mol/m²d fixiert und erst im September Anzeichen einer Abnahme zeigt, erreicht *Buddleja* in der Schlachthausgasse im Juni den höchsten Wert und ist danach kleineren Schwankungen unterworfen (Abb. 4b). *Buddleja davidii* fixiert am Standort Schlachthausgasse bis zu 20 µmol/m²s und ist damit die photosynthetisch aktivste Pflanze. Am Standort Biberhaufenweg beträgt der Spitzenwert lediglich 14 µmol/m²s. Dies ist auf die bessere Wasserversorgung an diesem Standort zurückzuführen.

Ein identischer Verlauf der Photosynthesekurven beider Standorte ist zu beobachten. Dies überrascht insofern, als jede der dargestellten Trendlinien eine Regressionskurve aus jeweils 100 Einzelmessungen darstellt. Dies bedeutet, daß die Strahlung bei *Buddleja* den wichtigsten Faktor für die Photosynthese darstellt. *Buddleja* fixiert, verglichen mit den anderen Pflanzen, bei allen Strahlungsintensitäten am stärksten (Abb. 5).

Clematis vitalba fixiert CO_2 fast durchgehend am meisten am Standort Biberhaufenweg. Auch bei dieser Pflanze übertreffen die an den beiden Augustterminen ermittelten Werte die Höchstwerte der anderen Meßtage. Das in der Schlachthausgasse gemessene Blatt befand sich im Halbschatten; deshalb lassen sich die Werte nicht unmittelbar miteinander vergleichen. *Clematis vitalba* entwickelt den Photosyntheseapparat am Standort Grinzing

 © Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

recht früh. Die Fixierungsraten nehmen im Herbst allgemein stark ab (Abb. 4c). Die Schattenadaption der Pflanze in der Schlachthausgasse ist an deren niedrigem Lichtkompensationspunkt zu erkennen. *Clematis vitalba* genügt dort für eine positive Nettophotosynthesebilanz eine weitaus geringere Lichtmenge als an den beiden anderen Standorten (Abb. 5c).

Die Photosyntheserate von *Sambucus nigra* nimmt an allen Standorten langsam, aber kontinuierlich zu. Bis zum August sind auch keine größeren standortbedingten Unterschiede zu erkennen. Ab dem ersten Augusttermin fällt die Rate am Standort Biberhaufenweg langsam ab, während sie an den anderen Standorten schnell absackt (Abb. 4d). Der Grund hierfür dürfte in der besseren Wasserversorgung dieses Standortes zu suchen sein. Wie bei *Acer pseudoplatanus* hebt sich die am Biberhaufenweg gewonnene Lichtsättigungskurve des Holunders von den beinahe deckungsgleich verlaufenden der Individuen der beiden anderen Standorte deutlich ab und ist verbunden mit höheren Photosyntheseraten bei gleicher Einstrahlung. Allerdings ist auch der ermittelte Lichtkompensationspunkt und somit die Atmungsaktivität höher (Abb. 5d).

Die beiden *Solidago*-Arten können nur an vier Terminen direkt miteinander verglichen werden. Die Messungen ergeben von Beginn an ungefähr gleiche Werte — Anzeichen für eine frühe volle Entwicklung des physiologischen Apparates. Im September nimmt die Leistung von *Solidago gigantea* am Standort Biberhaufenweg rasch ab (Abb. 4e). *Solidago canadensis* (in Grinzing) vermag bis zu 12,3 µmol/m²s zu fixieren, während *Solidago gigantea* mit 11,9 µmol/m²s nur minimal unter diesem Wert liegt. POTVIN & WERNER (1983) untersuchten das Konkurrenzverhalten von *Solidago canadensis* und stellten eine durchaus vergleichbare maximale Photosyntheserate von 13,2 µmol/m²s fest. CORNELIUS (1990) verglich die Leistung von *Solidago canadensis* auf einem aufgelassenen Industriegelände mit jener in einem verwilderten Garten und kam zu dem Schluß, daß die Goldrute bei Wasserstreß (am trockenen „Industrie"standort) nur 4-5 µmol CO_2/m²s fixierte, während am gut mit Wasser versorgten Standort 7,6 µmol/m²s erreicht wurden. Dennoch spricht der Autor *Solidago* eine breite ökologische Amplitude zu, was Wasser- und Nährstoffbedürfnisse betrifft. Diese Aussage kann nach den vorliegenden Untersuchungen nur bestätigt werden, da an den beiden Wiener Standorten annähernd gleich hohe Maxima gemessen wurden, obwohl der Standort Biberhaufenweg (11,9 µmol/m²s) vor allem für krautige Pflanzen weitaus trockener war als Grinzing (12,3 µmol/m²s). Da der ursprüngliche Standort dieser Art die nordamerikanische Prärie ist, hat *Solidago* freilich hohe Ansprüche an die Lichtverhältnisse. Folgerichtig wurden beide Arten auf den untersuchten Brachen auch nur an den sonnigsten Stellen gefunden.

 ©Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

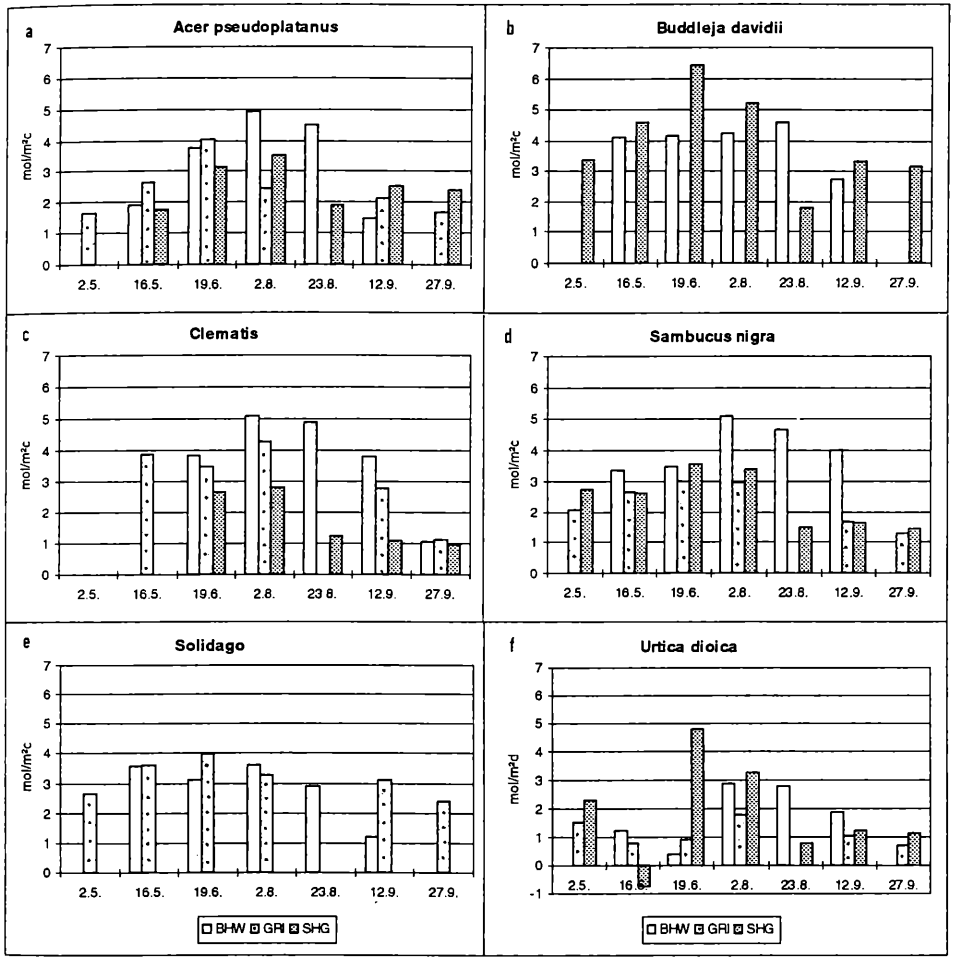

Abb. 4: Standortvergleich der integrierten Photosyntheserate der einzelnen Pflanzen. — Integrated photosynthesis rates of plants at different sites.

Der Vergleich der ermittelten Lichtsättigungskurven beider Arten (Abb. 5e) zeigt, daß die Kanadische Goldrute das Licht geringfügig besser ausnützt als die Riesen-Goldrute. Zwei alternative Deutungen sind möglich: die beiden Spezies weichen im Photosyntheseapparat etwas voneinander ab, oder der feuchtere Standort ließ eine geringfügig höhere Photosyntheserate zu. Der zweiten Überlegung muß der Vorzug gegeben werden, da sich die beiden Arten miteinander vermischen und Übergangsformen bilden können. Daher ist eher zu vermuten, daß sie gleiche physiologische Voraussetzungen haben und daß *S. canadensis* in Grinzing bessere Boden-, unter Umständen auch bessere Nährstoffbedingungen vorfand als *S. gigantea* im Biberhaufenweg.

 © Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Urtica dioica ist jene Art, die an allen Standorten die geringsten Tagesfixierungsraten aufweist. Bis Anfang August weist das Individuum in der Schlachthausgasse die höchste Produktion auf, es erreicht seine höchste Photosyntheserate im Juni. Ab dem zweiten Augusttermin sinkt diese hier jedoch stark ab und wird nun von der Pflanze im Biberhaufenweg, die erst im August ihre größte Produktivität erreicht, übertroffen. Bedingt durch die Schattenlage kam die Pflanze am Grinzinger Standort auf die mit Abstand geringsten Photosyntheseraten der untersuchten Brennesseln (Abb. 4f). Die gemessenen Blätter waren hier mit Abstand am größten. Dies läßt sich mit FETENE et al. (1993) mit der Stickstoffversorgung erklären, wonach *Urtica* bei ausreichender N-Zufuhr größere Blätter ausbildet. REIF et al. (1985) beschreiben die Abhängigkeit der Großen Brennessel von ausreichender Nährstoffversorgung an schattigen Standorten. Die Photosyntheseleistung von *Urtica dioica* ist nicht allzu hoch, wobei wiederum wachsende Blätter höhere Leistungen erbringen als adulte (FETENE et al. 1993 nach TECKELMANN 1987). Doch wurden an den beiden „Sonnen"-Standorten in den ersten Monaten große tageszeitliche Schwankungen zwischen Nettoassimilation und Nettorespiration festgestellt. Dieser Effekt ist nach PEREIRA (1994) auf starkes Wachstum zurückzuführen. Der Spitzenwert von 16 µmol/m²s wird am Standort Schlachthausgasse erreicht, in Grinzing, dem schattigsten Standort, kommt die Brennessel nur auf knapp 7 µmol/m²s. Dem stehen Werte von 2-10 µmol/m²s aus der zitierten Arbeit gegenüber. Obwohl die Brennessel offensichtlich keine sehr hohen Photosyntheseraten erreicht, bildete sie auf unseren Untersuchungsflächen dichte Bestände. Demnach spielt in der Konkurrenz die gesamte Bilanz des Kohlenstoffs eine Rolle, nicht nur dessen Aufnahme. FETENE et al. (1993) beziffern die nächtlichen Respirationsverluste während einer 14-Stunden-Nacht auf 1,9-2,9 % des assimilierten Kohlenstoffes; dies ist sehr wenig, liegen doch die durchschnittlichen Dunkelrespirationsanteile bei Pflanzen um 35 % (HOFFMANN 1987).

Der Vergleich der Lichtsättigungskurven bietet folgendes Bild: Die „aktivste" *Urtica*-Pflanze war diejenige in der Schlachthausgasse. Die Individuen an den beiden anderen Standorten waren etwa gleich lichtabhängig, und das, obwohl die Pflanze in Grinzing weit weniger Licht ausgesetzt war als jene am Biberhaufenweg. Die Brennessel in Grinzing war jedoch besser an dieses verminderte Lichtangebot angepaßt, was sich von dem niedrigen Lichtkompensationspunkt (25 µmol/m²s gegenüber 70 µmol/m²s an den anderen Standorten) ableiten läßt (Abb. 5f).

Aster novi-belgii agg. weist für die Assimilation Tageshöchstraten zwischen 8,3 und 16,9 µmol/m²s auf. Damit liegen die gemessenen Werte sowohl im Bereich derjenigen in BAZZAZ (1979), der für *Aster pilosus* eine maximale

 Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

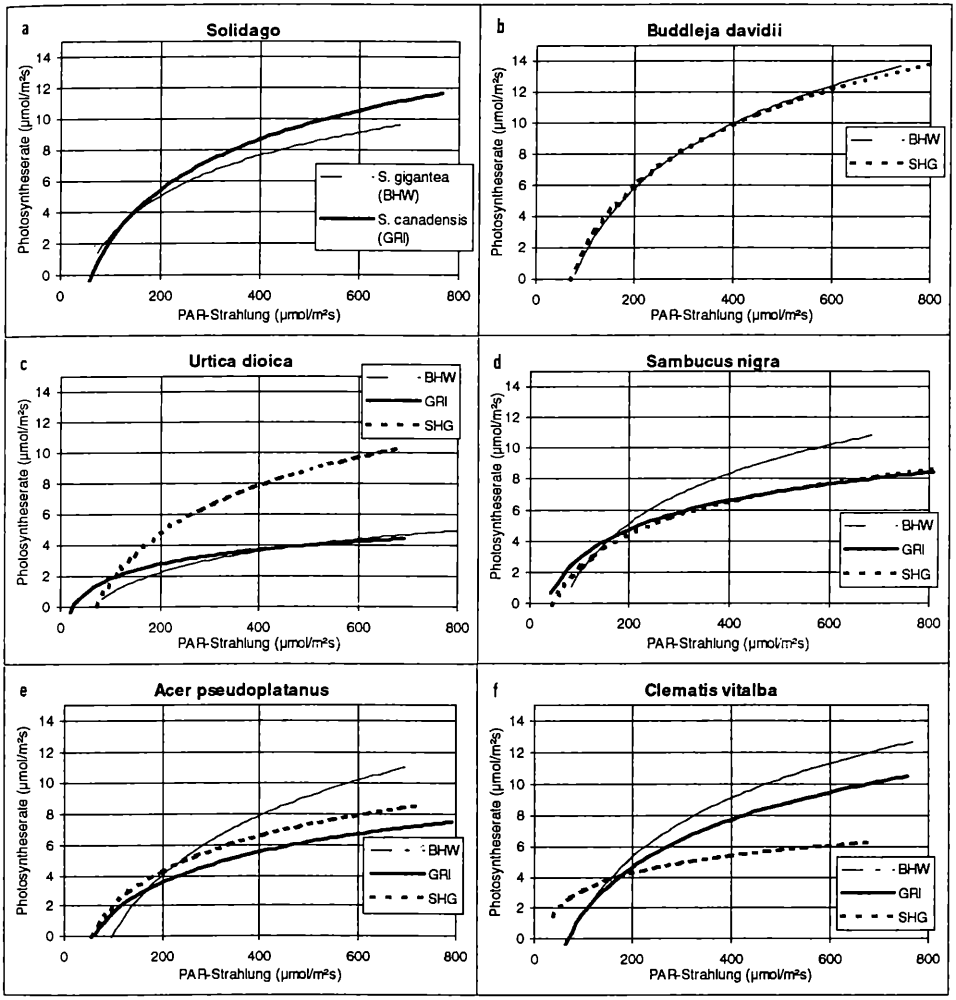

Abb. 5: Standortvergleich der Lichtsättigungskurven der einzelnen Pflanzen. — Light saturation of plants at different sites.

Photosyntheserate von 20 µmol/m²s angibt, wie derjenigen in SCHMID & BAZZAZ (1994), die für *Aster novi-belgii* agg. eine Differenzierung in ältere und jüngere Blätter vornahmen. Als höchste Fixierungsraten wurden dort für ältere Blätter 11,7 µmol/m²s, für jüngere Blätter 18,1 µmol/m²s ermittelt. In der hier vorgelegten Arbeit wurden stets dieselben Blätter zur Messung herangezogen. Sie erreichten im Juni die maximale Leistungsfähigkeit von 16,9 µmol/m²s, von da an sank die Assimilationsrate auf etwa 11,5 µmol/m²s ab. Das anfänglich hohe Niveau spiegelt sich in den hohen Tagesraten im

 © Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Frühjahr und Frühsommer wider (Abb. 3: Mitte). SCHMID & BAZZAZ (1994) verglichen *Solidago canadensis* mit *Aster lanceolatus*, die der untersuchten *A. novi-belgii* agg. ökologisch sehr ähnelt. Sie stellten ebenfalls eine sehr frühe und gleichzeitig höhere Aktivität der Photosynthese bei *Aster* fest, die allerdings nur für eine kurze Zeit anhält. Die „Lebenszeit-Photosyntheseleistung" der beiden Arten ist nach ihren Untersuchungen ungefähr gleich hoch.

Erigeron annuus fixierte maximal 11 µmol/m²s, was ungefähr mit den in BEGON et al. (1990) zitierten Angaben (14 µmol/m²s) übereinstimmt. Obwohl *Erigeron annuus* den Standort Biberhaufenweg prägte, fand diese Pflanze hier sicherlich keine optimalen Voraussetzungen für den Stoffwechsel, weil sie lange Trockenstreß ausgesetzt war. BAZZAZ (1979), der die unterschiedlichen Photosyntheseraten im Laufe einer Sukzession beschreibt, nennt für *Erigeron annuus* als eine typische Frühsukzessions-Pflanze mit sehr hoher Nettoassimilationsrate einen Maximalwert von 22 µmol/m²s. Dies läßt den Schluß zu, daß das Berufkraut hier nur suboptimale Voraussetzungen vorgefunden haben dürfte.

Bei *Ailanthus altissima,* von dem aus methodischen Gründen leider nur ein Halbschattenblatt herangezogen werden konnte, war die Tagesmenge des fixierten CO_2 bereits ab dem ersten Meßtermin relativ hoch. Dies überraschte, weil *Ailanthus altissima* die Art war, die als letzte ihre Knospen öffnete; er entfaltete dann seine großen Fiederblätter recht rasch. Die Fixierungsrate nahm bis Anfang August zu und von da an rapide ab (Abb. 3a). Während *Ailanthus* an einem gegebenen Standort unter den Vergleichspflanzen die niedrigste Photosyntheseaktivität aufwies, zeigte er regelmäßig eine stärkere Transpirationrate als die anderen Gehölze. Vermutlich verfügt der Baum über ein sehr weit verzweigtes Wurzelsystem, so daß er an diesem sehr trockenen Standort keine Anzeichen von Wasserstreß erkennen ließ. Die Lichtkurve des Blattes zeigte als Anpassung an die schattigen Verhältnisse einen niedrigen Kompensationspunkt (40 µmol/m²s) und ziemlich niedrige Photosyntheseraten. Die höchste gemessene CO_2-Assimilationsrate war mit 9,8 µmol/m²s der niedrigste Maximalwert aller untersuchten Pflanzen. Allerdings liegt dieser Wert deutlich über den Vergleichszahlen von HOFFMANN (1987) und LARCHER (1984), die für Schattenblätter eine höchstmögliche Fixierungsrate von etwa 3-6 µmol/m²s nennen. MAREK (1988) gibt als höchste Assimilationsrate für *Ailanthus altissima* 19,8 µmol/m²s an und ordnet den Götterbaum als „Sonnenbaum" ein.

 Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Literatur

AUER I., BÖHM R. & MOHNL H., 1989: Klima von Wien. Eine anwendungsorientierte Klimatographie. Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung, Bd. 20. Magistrat der Stadt Wien, MA 18.

AUER I., 1989: Auswirkung der urbanen Wärmeinsel auf ausgewählte bioklimatische Größen. Wetter und Leben 41, 249-258.

BAZZAZ F. A., 1979: The physiological ecology of plant succession. Ann. Rev. Ecol. Syst. 10, 351-371.

BEGON M., HARPER J. L. & TOWNSEND C. R., 1990: Ecology. Individuals, populations and communities. 2nd edition. Blackwell Scientific, Boston.

BURIAN K., 1979: Die Pflanze in der Stadt. In: Hundert Jahre Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien, p. 129-132.

CORNELIUS R., 1990: The strategies of *Solidago canadensis* L. in relation to urban habitats. I. Resource requirements. Acta Oecol. 11 (1), 19-34.

DÖRFLINGER A. N., 1995: Quantifizierung ökologischer Parameter im urbanen Raum. Diss. Univ. Wien.

EISINGER K., 1996: Photosyntheseleistung und Kohlenstoffhaushalt urbaner Grünräume. Diss. Univ. Wien.

FETENE M., MOELLER I. & BECK E., 1993: The effect of nitrogen supply to *Urtica dioica* L. plants on the distribution of assimilates between shoots and roots. Bot. Acta 106 (3), 228-234.

HOFFMANN P., 1987: Photosynthese. Akademischer Verlag, Berlin.

JÖRGENSEN S. E., NIELSEN S. N. & JÖRGENSEN L. A., 1991: Handbook of ecological parameters and ecotoxicology. Elsevier, Amsterdam.

LARCHER W., 1984: Ökologie der Pflanzen. 4., überarbeitete Aufl. Ulmer, Stuttgart.

MAIER R. et al., 1995: Abschlußbericht der Projektstudie „Ökologie von Siedlungsräumen“ Unveröffentlicher Bericht, Universität Wien.

MAREK M., 1988: Photosynthetic characteristics of *Ailanthus* leaves. Photosynthetica 22 (2), 179-183.

 © Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

PEREIRA J. S., 1994: Gas exchange and growth. In: SCHULZE E. D. & CALDWELL M. M. (Eds.), Ecophysiology of photosynthesis, p. 147-181. Series: Ecological Studies, vol. 100. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

POTVIN M. A. & WERNER P. A., 1983: Water use physiologies of co-occurring Goldenrods (*Solidago juncea* and *Solidago canadensis*): Implications for natural distributions. Oecologia 56, 148-152.

REIF A., TECKELMANN M. & SCHULZE E. D., 1985: Die Standortamplitude der Großen Brennessel (*Urtica dioica* L.) — eine Auswertung vegetationskundlicher Aufnahmen auf der Grundlage der Ellenbergschen Zeigerwerte. Flora 176, 365-382.

SCHMID B. & BAZZAZ F. A., 1994: Crown construction, leaf dynamics, and carbon gain in two perennials with contrasting architecture. Ecol. Monogr. 64 (2), 177-203.

STÜLPNAGEL A. VON, HORBERT M. & SUKOPP H., 1990: The importance of vegetation for the urban climate. In: Sukopp H. & Hejný S. (Eds.), Urban ecology. Plants and plant communities in urban environments, p. 175-194. SPB Academic Publishing, The Hague.

SUKOPP H. & WITTIG R. (Ed.), 1993: Stadtökologie. G. Fischer, Stuttgart, Jena, New York.

TECKELMANN M., 1987: Kohlenstoff-, Wasser- und Stickstoffhaushalt von *Urtica dioica* L. an natürlichen Standorten. Diss. Univ. Bayreuth.

WITTIG R., 1991: Ökologie der Großstadtflora. UTB: Bd. 1587. G. Fischer, Stuttgart.

Manuskript eingelangt: 1996 05 06

Anschrift des Verfassers: Dr. Kurt EISINGER, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Althanstraße 14, Postfach 285, A-1091 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Frueher: Verh.des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien. seit 2014 "Acta ZooBot Austria"

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: 133

Autor(en)/Author(s): Eisinger Kurt

Artikel/Article: Photosyntheseleistung von Stadtpflanzen 87-106