

# Der Kohlenstoffhaushalt einer Stadt am Beispiel Wien unter besonderer Berücksichtigung der pflanzlichen Biomasse und der Nettoprimärproduktion

Alexander Nikolaus DÖRFLINGER, Peter HIETZ, Rudolf MAIER  
und Wolfgang PUNZ

Die auf die Subsysteme verteilte pflanzliche Biomasse Wiens beträgt ca. 4 Mio. t Trockengewicht (rund 11,9 Mio. t Frischgewicht). Durch die Nettoprimärproduktion werden ca. 0,21 Mio. t Kohlenstoff fixiert. Die durchschnittliche pflanzliche Biomasse ist in Wien mit 10 kg/m<sup>2</sup> Trockensubstanz und die durchschnittliche Nettoprimärproduktion mit 1,1 kg/m<sup>2</sup>/a relativ hoch. Selbst in den urban-industriellen Subsystemen beträgt die durchschnittliche Biomasse noch 6 kg/m<sup>2</sup> und die Nettoprimärproduktion 0,56 kg/m<sup>2</sup>/a.

Die Hauptemissionsquelle von Kohlenstoff auf anthropogener Ebene ist die Verbrennung fossiler Energieträger. Mehr als die gesamte lebende Biomasse Wiens, von der die über 1,5 Mio. Menschen nur 1 % der pflanzlichen Biomasse entsprechen, wird in einem Jahr verbrannt. Es werden 2,7 Mio. t Kohlenstoff freigesetzt, die als Kohlendioxid (fast 10 Mio. t) zum Anstieg der Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre beitragen. Die Respiration der Menschen (incl. Haustiere), der Betrieb von Kläranlagen und in geringem Ausmaß die Kompostierung tragen zusätzlich zur Kohlenstofffreisetzung bei. Damit übertreffen die anthropogenen Emissionen den durch die Pflanzen assimilierten Kohlenstoff um das fast 13fache, die Nettofixierung der Biozönosen um das 61fache bzw. den Kohlenstoffgehalt der gesamten Pflanzendecke Wiens um das 1,4fache.

DÖRFLINGER A. N., HIETZ P., MAIER R. & PUNZ W., 1996: The urban carbon balance: Vienna as a case study, with special emphasis on plant biomass and net primary production.

Plant biomass in Vienna amounts to 4 mio t dry weight (i.e. 11.9 mio t fresh weight). Carbon fixation by net primary production of vegetation is 0.21 mio t. Vienna shows relatively high average plant biomass (10 kg/km<sup>2</sup> dry matter) and average net primary production (1.1 kg/m<sup>2</sup>/a), with the respective values in the urban-industrial subsystems also being high at 6 kg/m<sup>2</sup> and 0.56 kg/m<sup>2</sup>/a.

The main anthropogenic source of carbon emission is the production of energy by combustion of fossil fuel. More than the equivalent amount of carbon that is fixed in the living biomass of Vienna is combusted annually. The consequence is the release of 2.7 mio t carbon as carbon dioxide (10 mio t), contributing to the greenhouse effect. Additional carbon is released by human and animal respiration, purification plants and composting. The anthropogenic carbon emissions, therefore, exceed the amount of carbon fixed by vegetation (13-fold), net fixation by biocoenoses (61-fold), and the carbon content of Vienna's vegetation cover (1.4-fold).

Keywords: carbon balance, plant biomass, primary production, urban ecology, ecosystem, Wien (Vienna), Austria.

## Einleitung

Durch den massiven menschlichen Eingriff in die Natur ist ein neues Ökosystem entstanden: die Stadt. Sie ist nicht nur Lebensraum für den Großteil der Bevölkerung in einer urbanisierten Region, sondern auch für speziell angepasste Tiere, Pflanzen und Pilze. Die Stadt beeinflusst nicht nur durch den direkten mechanischen Eingriff der Straßen-, Wohn- oder Fabriksbauten, sondern auch durch die nötige Zufuhr zusätzlicher Energie und Güter sowie durch die daraus resultierende Veränderung der Stoff- und Energieflüsse die biotischen und abiotischen Faktoren der urbanen Region (SUKOPP 1983, 1984, PUNZ 1993), der angrenzenden Gebiete und der ganzen Erde (DÖRFLINGER et al. 1993). Sie ist ein „Ökoparasit“ (WOLKINGER 1977), der, um zu überleben, schmarotzen muß. Um die Stadt „am Leben“ zu erhalten, müssen Energie für Ernährung, Verkehr, Raumheizung usw. und diverse Güter importiert werden. Dies führt zu einer Zunahme der Entropie und des Abfallberges. Die Belastungen, denen die Lebewesen und vor allem die Pflanzen in der Stadt ausgesetzt sind, reichen vom „Stadtklima“ (zusammengefaßt unter anderem bei SUKOPP 1983, WITTIG 1991) — vor allem Temperaturerhöhung, Verringerung der relativen Luftfeuchtigkeit — über Bodenverdichtung, Versiegelung, Grundwasserabsenkung bis zu Schadstoffen (Schwefeldioxid, Stickoxide, Ozon, Staub, Streusalz, Erdgas, verschiedene organische Verbindungen, Blei) in Luft und Boden (BURIAN 1979, WITTIG 1991, MAIER 1992).

Das natürliche Grundkonzept des Stoffkreislaufes hat der Mensch durch Erschließung der fossilen organischen Substanzen nachhaltig gestört: Stoffflüsse (und Energieflüsse) sind dort durchbrochen, wo sie geschlossen waren bzw. dort geschlossen worden, wo sie getrennt waren. So wird z.B. als Folge der Aneignung (d.h. Verwertung) der Nettoprimärproduktion (= NPP) durch den Menschen in einem naturnahen Ökosystem nicht nur den heterotrophen Organismen die Lebensgrundlage entzogen, sondern es geht, ganz allgemein ausgedrückt, organische Substanz mit all ihren Elementen verloren (HABERL 1995, MAIER et al. 1996b).

Brennpunkt solcher Störungen der natürlichen Kreisläufe ist die Stadt. Die vom Menschen nicht mehr verwendeten Stoffe werden von weit her konzentriert bzw. akkumuliert, im Stoffflußsystem weiterverteilt oder Deponien und Müllverbrennungsanlagen zur endgültigen „Verwertung“ zugeführt. Die

natürlichen Nahrungsketten werden dabei unterbrochen, die Nettoprimärproduktion wird daraus entnommen und entweder direkt oder indirekt über „anthropogene“ Sekundärproduzenten (d.h. Nutztiere) dem das Ende der Nahrungskette einnehmenden Menschen (einschließlich seiner Haustiere) zugeführt, als „erneuerbare“ Energiequelle verbrannt oder für die Herstellung verschiedener Gebrauchs- und Investitionsgüter verwendet. Die „natürlichen“ Destruenten gehen in diesem Gefüge, einem mehr oder weniger artifiziiellen Kreislauf, weitgehend leer aus: Der organische Abfall wird technisch entsorgt oder lokal angehäuft.

Als weiterer „Indikator“ für die Qualität eines Lebensraums kann — neben der Nettoprimärproduktion — die pflanzliche Biomasse angesehen werden. Hohe Strukturierung und günstiges Mikroklima schaffen und beeinflussen den Lebensraum. Die pflanzliche Biomasse wirkt auf das Klima über die Struktur des Bestandes (z.B. Vergrößerung der Oberfläche durch Blätter, Erhöhung des Raumwiderstandes) und über die Evapotranspiration der Pflanzendecke ein. Verschiedene Autoren wie SUKOPP et al. (1988), MAIER (1992), PUNZ (1993) und DÖRFLINGER (1995a) weisen in diesem Zusammenhang auf die positive Bedeutung hin, die die Pflanzendecke auf das Stadtklima (mit ihren erhöhten Temperaturen und ihrer niedrigeren Luftfeuchtigkeit gegenüber dem Umland; s. SUKOPP 1983, AUER et al. 1989) prinzipiell haben kann. Gegenüber verbauten Gebieten können im Sommer aufgrund erhöhter Verdunstung und Konvektion (Vergrößerung der Oberfläche vor allem durch Blätter) starke Temperatursenkungen erreicht werden. Die Temperaturdifferenz zwischen einer Asphalt- und einer Rasenfläche kann an einem Tag mit hoher Einstrahlung 25°C betragen (BAUMÜLLER 1981). So schreiben SUKOPP et al. (1988), daß Grünflächen von einem Hektar, wenn sie z.B. durch Hecken und Bäume von ihrer Umgebung abgeschirmt sind, ein eigenes Kleinklima entwickeln können, allerdings ohne nennenswerten Einfluß auf das gesamte Stadtklima zu haben.

Den bisher in Europa einzigen Ansatz, eine Großstadt in ihrer Gesamtheit als „Ökosystem“ zu erfassen, unternahmen DUVIGNEAUD & DENAYER-DE SMET (1977). Sie versuchten die wesentlichen Flüsse des Energie-, Kohlenstoff- und Wasserhaushaltes von Brüssel zu erfassen und graphisch darzustellen. Die einzelnen Komponenten und die Zusammenhänge zwischen ihnen sind ungemein komplex, und es ist äußerst schwierig, die unterschiedlichsten Aspekte, wie Stadtstruktur, inhomogenes bzw. unpräzises Datenmaterial und zeitliche Dynamik der Variablen, adäquat zu behandeln (s.auch PUNZ et al. 1996).

In der vorliegenden Studie wird versucht, ein möglichst gesamtheitliches Ökosystemmodell der Großstadt Wien, in dem die Biosphäre und vor allem die Vegetation eine zentrale Rolle in der Betrachtungsweise einnehmen, zu erstellen. Das Hauptinteresse der Untersuchungen liegt bei der Biosphäre *sensu stricto*: der Ansatz ist nicht technisch, sondern biologisch-ökosystemar (s. auch ODUM 1983). Auf dieser Basis wird eine Bilanz des Kohlenstoffs unter besonderer Berücksichtigung der Vegetation erstellt. Auf die außerhalb von Wien verbrannten oder deponierten Güter wird im Rahmen dieses Projektes nicht Rücksicht genommen. Die Berechnung der pflanzlichen Biomasse, der Nettoprimärproduktion und der abgebauten organischen Substanz sowie deren Verteilung auf die Subsysteme und Einbettung in die großen Kohlenstoffflüsse Wiens stehen im Vordergrund. Die Ergebnisse werden — über die Subsysteme (s. MAIER et al. 1996a) — flächenbezogen erfaßt und graphisch bzw. tabellarisch wiedergegeben; sie eröffnen die Möglichkeit, den Einfluß der menschlichen Aktivitäten und die damit bedingten Veränderungen der Vegetation auf der heutigen Fläche Wiens zu verstehen.

## Methodik

### **Biomasse, Nettoprimärproduktion und abgebaute organische Substanz**

Die pflanzliche Biomasse und die Nettoprimärproduktion wurden für jedes Subsystem (Subsystemstruktur von Wien s. MAIER et al. 1996a) berechnet, indem die jeweilige Fläche (mit Baum-, Strauchbestand und krautig/grasiger Vegetation) bzw. Sonderfläche (Äcker, Weinbau, Wasserfläche — Daten aus MAIER et al. 1996a) mit einem Biomasse- bzw. NPP-Wert pro Flächeneinheit multipliziert wurde. Die Biomasse- und NPP-Werte der Bäume, der Sonderflächen Äcker und Weinbaugebiete ergeben sich aus Zuwachs-, Vorrats- und Ertragsdaten, die mit Umrechnungs- und Erntefaktoren multipliziert wurden. Den restlichen Biomasse- und NPP-Werten liegen Auswertungen von Literaturangaben zugrunde (s. unten). Die Berechnung selbst erfolgte unter Verwendung eines Tabellenkalkulationsprogramms:

$$NPP_w = \sum_{i=1}^n NPP_i$$

$NPP_w$  = Nettoprimärproduktion von Wien

$NPP_i$  = NPP des Subsystems  $i$

$$NPP_i = B_i \times b_i + S_i \times s_i + K_i \times k_i + X_i \times x_i$$

$NPP_i$	=	Nettoprimärproduktion des Subsystems i
$B_i$	=	Fläche mit Baumbestand des Subsystems i
$b_i$	=	durchschnittliche NPP der Fläche mit Baumbestand des Subsystems i
$S_i$	=	Fläche mit Strauchbestand des Subsystems i
$s_i$	=	durchschnittliche NPP der Fläche mit Strauchbestand des Subsystems i
$K_i$	=	Fläche mit krautiger Vegetation des Subsystems i
$k_i$	=	durchschnittliche NPP der Fläche mit krautiger Vegetation des Subsystems i
$X_i$	=	Sonderfläche des Subsystems i
$x_i$	=	durchschnittliche NPP der Sonderfläche des Subsystems i

Die Biomasse der Menschen, Haustiere und Nutztiere (Sekundärproduzenten des anthropogenen Stoffkreislaufes) wurde über die Größe der Population und über das mittlere Körpergewicht — bei den Menschen nach Altersgruppen und Geschlecht gestaffelt — berechnet (FRIEDL 1994, Magistrat der Stadt Wien 1992, ÖSTAT 1994b). Für Hunde ergibt sich bei einem geschätzten durchschnittlichen Körpergewicht von 14 kg (TEICHMANN 1994, IEMT 1994) ein Frischgewicht von  $98\,564 \times 14 \text{ kg} = 1\,380 \text{ t FG}$  (552 t Trockengewicht), für Katzen bei einem geschätzten Durchschnittsgewicht von 3,3 kg (BRUNNER 1994, IEMT 1994) entsprechend  $281\,668 \times 3,3 \text{ kg} = 930 \text{ t FG}$  (372 t TG).

Die Nettoprimärproduktion setzt sich aus den Änderungen der Biomasse (DW), den Verlusten durch Tod, Verrottung und Transport ( $d_1$ ) sowie durch Fraß ( $d_g$ ) und Wurzelausscheidungen ( $d_e$ ) zusammen (ROBERTS et al. 1993):

$$NPP = DW + d_1 + d_g + d_e$$

NPP	=	Nettoprimärproduktion
DW	=	Differenz Biomasse
$d_1$	=	Tod, Verrottung, Transport
$d_g$	=	Fraß
$d_e$	=	Wurzelausscheidung

Der Detritus ist die Menge an abgestorbener Biomasse, die durch Bakterien und Pilze abgebaut (Mineralisation, Abbauraten) werden kann.

$$d_1 = DD + r \times t \times Dq + (\text{Export} - \text{Import})$$

DD = Differenz Detritus

r = Abbaurate

t = Zeitintervall

Dq = mittlere Gewichtsmenge des Detritus während des Zeitintervalls t

rtDq = abgebauter Detritus während des Zeitintervalls t

Export - Import = Nettotransport von Material durch Wind oder Wasser

Die Kohlenstoffbilanz eines natürlichen Ökosystems lautet (s. dazu unter anderem SHARP et al. 1975, WHITTAKER & MARKS 1975, ROBERTS et al. 1993, DÖRFLINGER 1994, 1995b):

$$CA_n = DO$$

$$DO = DW + DD$$

$$DW = NPP - d_1 - d_g - d_e$$

$$DD = d_1 - r \times t \times Dq - (\text{Export} - \text{Import})$$

$$CA_n = NPP - d_g - d_e - r \times t \times Dq - (\text{Export} - \text{Import})$$

CA<sub>n</sub> = Bilanz der Biozönosen

DO = Differenz organische Masse

Der Export organischer Masse und damit der nicht am Standort abgebaute Teil ergibt sich aus folgenden Quellen (näheres bei DÖRFLINGER et al. 1995): den landwirtschaftlichen Produktionsdaten (für die Subsysteme Ackerflächen und Weinbau), der forstwirtschaftlichen Statistik (für die Subsysteme der Wälder und für den Prater; dieser im Subsystem Park- und Grünanlagen), den Aufzeichnungen des Stadtgartenamtes (MA 42) für Park- und Grünanlagen sowie Daten der MA 45 (Wasserbau). Die Statistiken für Obstproduktion umfassen sowohl Intensivkulturen (Gärtnereien und Obstplantagen) als auch extensiven Anbau, sind aber nur für wenige Obstsorten getrennt, sodaß eine Zuordnung nach Subsystemen nicht erfolgen kann. Nachdem der Großteil der extensiven Obsternte aus Kleingärten kommen dürfte (die im wesentlichen für den Eigenbedarf verwendete Ernte von Privathäusern mit Garten scheint in der Statistik nicht auf), wurden die Subsysteme Kleingärten und Gärtnereien/Obstplantagen zusammengefaßt.

Für die restlichen Subsysteme ist die Zuordnung schwieriger, da deren organische Abfälle nicht getrennt gesammelt werden. Zudem kann nur ein Teil des Kompostmaterials Grünabfällen zugeordnet werden, der Großteil des Restes setzt sich aus Küchenabfällen zusammen. SCHARFF (1991) hat die Zusammensetzung des Biotonnenmaterials aus vier Teilgebieten Wiens analysiert. Bei Haushalten mit Garten ist mit etwa der 3fachen Biotonnen-

menge der Haushalte ohne Garten zu rechnen. Dies kann zum überwiegenden Teil durch den etwa  $2\frac{1}{2}$ mal größeren Grünflächenanteil im Subsystem Wohnen mit Garten gegenüber Wohnmischsystemen erklärt werden, wobei außerdem zu bedenken ist, daß Eigenkompostierung im wesentlichen nur bei eigenem Garten durchgeführt wird. Weiters ergab eine Studie zweier Gartensiedlungen in Schwechat eine Grünabfallmenge von 3,8 und 4,5 t/ha, was in Wien im Durchschnitt kaum erreicht werden dürfte (LECHNER et al. 1994).

Bei den gesammelten biogenen Abfällen setzt sich das Biotonnenmaterial großteils aus Garten- und Küchenabfällen zusammen. An öffentlichen Sammelplätzen dürfte vor allem Grünschnitt aus Privatgärten abgeliefert werden. Ebenso handelt es sich bei den biogenen Abfällen, die private Firmen an die MA 42 liefern, um Grünabfälle. Von der MA 48 werden zudem Abfälle von Märkten und Großküchen gesammelt (überwiegend Küchenabfälle und ähnliches), und auch in der Abfallbehandlungsanlage der MA 42 (s. Abfallflüsse im Ergebnisteil) ist der überwiegende Anteil Grünabfall. Im Durchschnitt kann der Anteil der Grünabfälle am gesammelten Kompostmaterial (ohne Material der MA 42 und MA 45) auf etwa 60 % oder 16 837 t geschätzt werden. Um eine grobe Berechnung zu ermöglichen, wird diese Menge gleichmäßig den Grünflächen der oben nicht besprochenen Subsysteme zugeteilt und ein durchschnittlicher Wassergehalt der Grünabfälle von 60 % angenommen. Das dezentral kompostierte organische Material wurde in den Betrachtungen nicht erfaßt, da dieser Anteil zum natürlichen und am Standort abgebauten Material gerechnet wird, im Gegensatz zum exportierten und nur zum Teil kontrolliert abgebauten Material.

Die Frage, ob mehr Kohlenstoff fixiert als freigesetzt wird, läßt sich entweder über die Differenz organischer Masse (einschließlich der des Bodens) oder über die Nettoprimärproduktion unter der Berücksichtigung des anthropogen bedingten Transports berechnen. Für den ersten Ansatz sind Differenzen der organischen Masse zu bilden; da jedoch nur ein Jahr beobachtet wurde, war dies nicht möglich. Deshalb wurde der zweite Ansatz gewählt. Wird die Differenz aus NPP und direktem menschlichen Export plus Biomasseänderung gebildet, ergibt sich die von Heterotrophen veratmete organische Substanz (bei Vernachlässigung des „natürlichen“ Transports und der Wurzelausscheidungen):

$$\begin{aligned} d_g + r \times t \times Dq &= d_r \\ d_r &= \text{NPP} - \text{DW} - \text{Transport}_a \end{aligned}$$

$d_r$  = Respiration  
 $\text{Transport}_a$  = direkter anthropogener Transport

Da dies wegen der begrenzten Datenlage und Ressourcen nur für die Forste möglich ist, wird für die anderen Subsysteme nur die Differenz aus NPP anthropogenem Transport berücksichtigt und eine konstante Biomasse angenommen. Unter der Annahme, daß, über einen längeren Zeitraum gesehen, gleich viel organische Substanz veratmet wird, wie assimilierte Substanz im System bleibt (dies gilt für Ökosysteme im Klimaxstadium und für Ökosysteme, die durch menschlichen Einfluß konstant gehalten werden), kann die NPP-Gleichung zur Abschätzung der abgebauten organischen Substanz herangezogen werden, die sich aus der Differenz aus der NPP und der durch den Menschen exportierten NPP ergibt:

$$d_r = \text{NPP} - \text{Transport}_a$$

Weiters enthält die Kohlenstoffbilanz die Änderung der toten organischen Substanz (Boden). Die Einbeziehung dieses Gesichtspunkts mußte unterbleiben, da sonst der vorgesehene Arbeitsrahmen überschritten worden wäre. Somit wird für alle Subsysteme eine zwar unterschiedliche, das Jahr über aber jeweils konstante Menge an organischer Substanz im Boden angenommen.

Für den Kohlenstoffaustausch mit der Atmosphäre ergibt sich daher folgende Formel:

$$\text{CA}_n = \text{NPP} - d_r = \text{DW} + \text{Transport}_a$$

Für die Berechnungen wurden, neben den bereits erwähnten, folgende Quellen- und Literaturangaben herangezogen: BOWEN (1966), DUVIGNEAUD et al. (1971, 1977), CALDWELL (1975), DUVIGNEAUD (1975), SHARPE (1975), SHARP et al. (1975), WHITTAKER & LIKENS (1975), FALK (1976), HADORN & WEHNER (1978), SOUCI et al. (1979), Magistrat der Stadt Wien (1980, 1992), BORNKAMM (1981, 1984), BOYNTON et al. (1983), JARVIS & LEVERENZ (1983), LOOMIS (1983), BORNKAMM et al. (1984), LARCHER (1984, 1994), MITCHELL (1984), PIMENTEL (1984), FLINDT (1985), KEIDEL (1985), PENKA et al. (1985), ELLENBERG et al. (1986), LAUSCHER & ROLLER (1987), PENZLIN (1989), JONAS et al. (1990), PETTERSSON & HANSSON (1990), Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien (1993), Limnologische Projektstudie (1993), HABERL (1994, 1995), Wiener Forstverwaltung (unveröff. Daten), ÖNORM B3011, Höhere Bundeslehr- und -versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg (pers. Mitt.) und Magistrat der Stadt Wien (MA 42, unveröff. Daten).

## Anthropogene Kohlenstoffflüsse (Energieträger, Nahrung, Abfall)

Da zu den natürlichen Stoffflüssen durch den Menschen neue hinzugekommen sind bzw. Stoffflüsse abgekoppelt wurden (Nahrung), müssen diese getrennt als „anthropogener“ Stoffhaushalt behandelt werden:

$$CA_a = F_v + O_v + N_v + A_o + EI$$

$CA_a$	=	Kohlenstoffbilanz der Anthroposphäre
$F_v$	=	Verbrauch an fossilen Energieträgern
$O_v$	=	Verbrauch an organischen Hilfsenergieträgern (z.B. Holz)
$N_v$	=	Respiration der Nahrung
$A_o$	=	Oxidation von Abfällen (flüssig und fest)
$EI$	=	Export - Import von Gütern

In dieser Arbeit werden nur Güterströme erfaßt, die direkt durch Stoffwechselprozesse (Stoff- und Energieumwandlung) zum Energie- und Stoffhaushalt beitragen. Import und Export (Lageränderungen) von Gütern (EI), die nicht direkt durch Stoffwechselprozesse (Stoff- und Energieumwandlung) zum Energie- und Stoffhaushalt beitragen, werden nicht berücksichtigt, da sie für diese Studie keine Relevanz besitzen. Stoffflüsse weisen positive Werte auf, wenn sie in Richtung Stadt gehen, und sind negativ im umgekehrten Fall. Falls die Ströme einer Variablen in beide Richtungen verlaufen, gibt die Differenz den Ausschlag.

Der Verbrauch an Hilfsenergieträgern wurde der Literatur (Wiener Stadtwerke 1991, 1992a, 1992b) entnommen und über Umrechnungsfaktoren (aus Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten 1990) in Kohlenstoff-, Sauerstoff- und Wasserstoffgehalt aufgeteilt. Über das molare Verhältnis wurde das bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxid und Wasser sowie der zur Oxidation benötigte Sauerstoff berechnet. Dabei kann bei der Umrechnung von Festmeter (= fm) in kg TG Holz von 600 kg/fm (Laubhölzer, JARVIS & LEVERENZ 1993) ausgegangen werden: 51 645 fm  $\times$  600 kg/fm = 30 987 t TG. Alternativ kann der Heizwert-Umrechnungsfaktor von 4,31 MWh/t bei 15 % Wassergehalt (Wiener Stadtwerke 1991) verwendet werden: 199 000 MWh/4,31 MWh/t = 46 172 t FG; 46 172 t - 6 926 t (Wassergehalt, 15 %) = 39 246 t TG. Unter der Annahme einer vollständigen Verbrennung entspricht die Anzahl der Mole  $CO_2$  den Molen Methan. Für Erdgas gilt demnach folgende Umrechnung: 3 425 759 t  $\times$  16/44 (molares Gewichtsverhältnis von Methan zu  $CO_2$ ) = 1 245 730 t.

Die benötigte Nahrung wurde über Pro-Kopf-Verbrauchsangaben berechnet und in die Gleichung eingesetzt (Daten aus SOUCI et al. 1979, Magistrat der Stadt Wien 1992, ROHRBÖCK 1994 und unveröff. Daten). Der Kohlenstoff-

gehalt des Urins wurde gleichfalls über Pro-Kopf-Angaben (JAKUBKE & JESCHKEIT 1975, MÜLLER 1977, PLENERT & HEINE 1984) berechnet.

Zur Analyse der Müll- und sonstigen festen Abfallflüsse wurde vor allem auf den Leistungsbericht 1991 der MA 48-Müllbeseitigung (Magistrat der Stadt Wien MA 48 1992) zurückgegriffen. Soweit möglich, wurden dabei die Mengenflüsse von der Quelle bis zur endgültigen Lagerung auf der Deponie oder Weiterverwendung als Altstoff erfaßt.

Zu beachten ist, daß die Summe des produzierten Abfalls nicht identisch ist mit der deponierten und der weiterverwendeten Menge, da einerseits bei der Verbrennung ein Masseverlust auftritt und andererseits zur sicheren Depositionierung und Verfestigung der Verbrennungsrückstände beträchtliche Mengen an Zuschlagstoffen aufgebracht werden müssen. Die Abfallwirtschaft unterliegt in den letzten Jahren einem starken Wandel (Forcierung von Müllverbrennung und -trennung); das Jahr 1991 ist durch den weitgehenden Ausfall der Müllverbrennungsanlage Spittelau etwas untypisch (vgl. Magistrat der Stadt Wien MA 48 1994).

Obwohl verwaltungstechnisch der feste Abfall (Müll) vom flüssigen (Kanalisation) getrennt ist, gehören in einer ökosystemaren Darstellung die im Abwasser enthaltenen Stoffe natürlich ebenso zum Abfall und werden daher auch im Kapitel Abfallflüsse behandelt.

Alle Abfälle, die nicht erfaßt wurden, weil sie etwa zwischen verschiedenen Industriebetrieben weiterverkauft werden oder nicht ordnungsgemäß gemeldet und entsorgt werden, scheinen in dieser Bilanz nicht auf, ebensowenig alles organische Material, das privat kompostiert wird.

### **Kohlenstoffbilanz**

Die gesamte Kohlenstoffbilanz setzt sich aus der „natürlichen“ und der „anthropogenen“ Teilbilanz zusammen, wobei der „natürliche“ Teil zwar menschlich verändert ist, dessen Stoffflüsse aber homolog zu den ursprünglichen (nicht durch den Menschen beeinflussten) sind. Der Stofffluß weist eine positive Bilanz auf, falls mehr Kohlenstoff aus der Atmosphäre gebunden als freigesetzt wird, und ist im umgekehrten Fall negativ:

$$CA_a + CA_n = CA$$

Tab. 1: Pflanzliche Biomasse Wiens 1991. Grünanteil in m<sup>2</sup>; Deckungsgrad in Prozent (= % Gf.); Biomasse in t TG (= Biomasse t) und in kg TG/m<sup>2</sup> (= Bm. kg/m<sup>2</sup>). — Plant biomass of Vienna in 1991. Vegetation-covered part of subsystems in m<sup>2</sup>; "Deckungsgrad" (i.e. degree of coverage) of subsystem area (= % Gf.); biomass in t of dry matter (= Biomasse t), and biomass in kg/m<sup>2</sup> of dry matter (= Bm. kg/m<sup>2</sup>).

Subsystemklasse/Subsystem	Fläche m <sup>2</sup>	% Gf.	Biomasse t	Bm. kg/m <sup>2</sup>
<b>landwirtschaftlich-forstlich</b>	150 525 883	96,5	2 371 793	15,2
Ackerflächen	61 962 993	98,8	131 690	2,1
Gärtnerereien, Obstplantagen	3 326 794	54,1	17 306	2,8
Weinbaugebiet	7 551 142	99,6	11 693	1,5
Auwald	16 209 344	98,1	418 712	25,3
M-Europ. Laubmischwald	61 702 546	99,7	1 762 345	28,5
Pannonischer Eichenwald	1 059 077	100,0	30 119	28,4
<b>gärtnerisch gestaltet</b>	36 897 709	79,6	573 368	12,4
Kleingärten	10 056 520	76,1	148 129	11,2
Park- und Grünanlagen	26 838 879	81,0	425 239	12,8
<b>urban-industriell</b>	69 428 387	38,0	982 685	5,4
Wohnen mit Garten	33 433 553	74,7	552 758	12,3
Wohnmischgebiet	16 598 171	32,6	229 843	4,5
Handel und Gewerbe	2 914 234	24,7	33 979	2,9
Industrie	5 548 146	29,5	35 475	1,9
Verkehrsfläche Bahn	2 987 129	31,3	32 869	3,4
Verkehrsfläche Straße	6 782 614	14,5	97 761	2,1
<b>brachliegende Flächen</b>	8 225 850	81,1	76 310	7,5
<b>Gewässer</b>	1 829 488	9,3	28 778	1,5
<b>Summe bzw. Durchschnitt</b>	266 908 609	64,7	4 032 934	9,7

## Ergebnisse

### Pflanzliche Biomasse

Die gesamte pflanzliche Biomasse Wiens beträgt (bei angenommenen 66 % Wassergehalt im FG und 45 % Kohlenstoff im TG) 4 Mio. t TG, das entspricht rund 11,9 Mio. t FG bzw. 1,8 Mio. t Kohlenstoff (vgl. Tab. 1). Wie man Abbildung 1 und Tabelle 1 entnehmen kann, haben die forstlich gepräg-

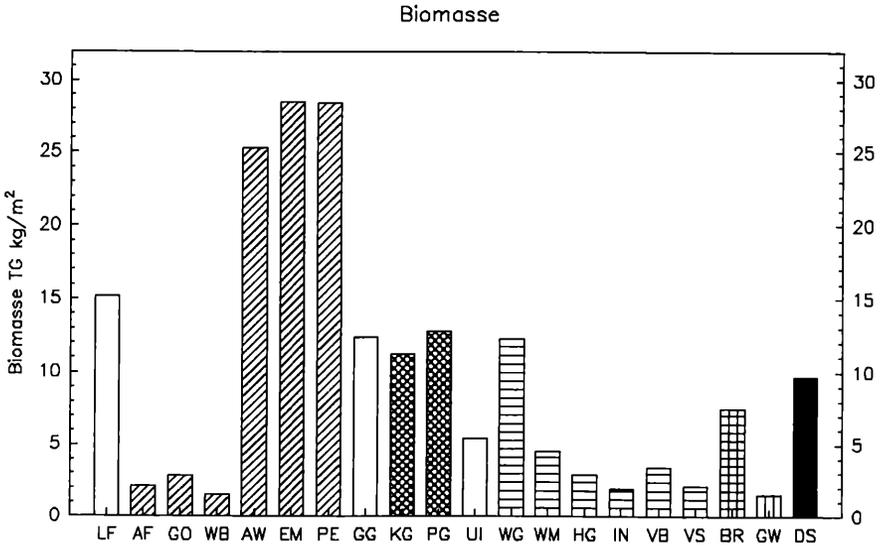


Abb. 1: Mittlere pflanzliche Biomasse der Subsystemklassen und der Subsysteme sowie deren Durchschnitt (= DS). LF landwirtschaftlich-forstlich, AF Ackerflächen, GO Gärtnereien und Obstplantagen, WB Weinbaugesamt, AW Auwald, EM Mitteleuropäischer Laubwald, PE Pannonischer Eichenwald; GG gärtnerisch gestaltet, KG Kleingärten, PG Park- und Grünanlagen; UI urban-industriell, WG Wohnen mit Garten, WM Wohnmischgebiet, HG Handel und Gewerbe, IN Industrie, VB Verkehrsfläche Bahn, VS Verkehrsfläche Straße; BR brachliegende Flächen; GW Gewässer. — Average plant biomass of subsystem classes and subsystems. DS average for Vienna; LF agricultural and forest-related, AF arable land, GO gardening and fruit-growing, WB vineyards, AW floodplain forest, EM Central European deciduous mixed forest, PE Pannonian oak-forest; GG gardening, KG allotments, PG parks and gardens; UI urban-industrial, WG villa-type area, WM built-up area, HG trade and small-scale industry, IN industrial area, VB railway area, VS streets; BR bare; GW aquatic.

ten Subsysteme (Auwald, Mitteleuropäischer Laubwald und Pannonischer Eichenwald) die größte Biomasse pro Flächeneinheit. Klar unter dem Durchschnitt liegen die landwirtschaftlich geprägten Subsysteme, nämlich Ackerflächen, Gärtnereien und Obstplantagen sowie die Weinbaugesamte, ebenso die Subsysteme Wohnmischgebiet, Handel und Gewerbe, Industrie, Verkehrsfläche Bahn, Verkehrsfläche Straße sowie die Gewässer. Knapp unter dem Durchschnitt liegen die Brachen, etwas darüber die gärtnerisch gestalteten Subsysteme Kleingärten, Parks und Grünanlagen sowie — als einziges Subsystem der urban-industriellen Subsystemklasse — Wohnen mit Garten.

Die landwirtschaftlich-forstlich geprägte Subsystemklasse hat mit 59 % den größten Anteil an der Biomasse Wiens, wobei die landwirtschaftlich geprägten Subsysteme nur 4 % und die forstlich geprägten 55 % einnehmen. Der zweitgrößte Anteil fällt mit 24 % auf die urban-industrielle Subsystemklasse,

begründet vor allem durch den hohen Wert von Wohnen mit Garten. Der Anteil der Park- und Grünanlagen (einschließlich der Kleingärten) liegt bei 14 %, jener der Brachen bei 2 % und jener der Gewässer bei 1 %.

### Biomasse der Heterotrophen

Die menschliche Biomasse Wiens beträgt 99 176 t FG (entsprechend 39 670 t TG bzw. 19 042 t C). Für Hunde ergeben sich 1 380 t, für Katzen 910 t. In Tabelle 2 sind die Daten für Menschen und Haustiere zusammen mit den Wassergehalten und den O- bzw. H-Anteilen an Frisch- und Trockengewicht wiedergegeben.

Tab. 2: Endkonsumenten der „anthropogenen“ Nahrungskette in t. H-TG und O-TG sind die Anteile von Wasserstoff und Sauerstoff am Trockengewicht TG. C, H, O sind Anteile am Gesamtgewicht in t. — Consumers of the "anthropogenic" food chain in t. H-TG and O-TG refer to the proportion of H and O with respect to dry weight. C, H, O refer to the proportion with respect to total weight (in t).

	FG	TG	H <sub>2</sub> O	H-TG	O-TG	C	H	O
Mensch	99 176	39 670	59 506	2 618	7 537	19 042	9 230	60 431
Hunde	1 380	552	828	36	105	265	128	841
Katzen	930	372	558	25	71	179	87	567
<b>Summe</b>	<b>101 486</b>	<b>40 594</b>	<b>60 892</b>	<b>2 679</b>	<b>7 712</b>	<b>19 485</b>	<b>9 445</b>	<b>61 839</b>

### Nettoprimärproduktion

Die durchschnittliche Nettoprimärproduktion (= NPP) beträgt für Wien (1991) 1,12 kg/m<sup>2</sup> Trockensubstanz (s. Tab. 3, Abb. 2). Dies ergibt eine Produktion von 0,47 Mio. t TG (1,5 Mio. t FG). Insgesamt werden 0,2 Mio. t Kohlenstoff (0,77 Mio. t CO<sub>2</sub>) fixiert und 0,56 Mio. t Sauerstoff freigesetzt (bei 70 % Wassergehalt). Die Farbkarte „Nettoprimärproduktion von Wien“ zeigt die Verteilung der Nettoprimärproduktion in Wien. Am produktivsten sind die Ackerflächen und die forstlich geprägten Subsysteme mit Werten um 1,6 bis 2,1 kg/m<sup>2</sup>. Nahe dem Durchschnittswert liegen die Subsysteme Kleingärten, Park- und Grünanlagen, Wohnen mit Garten sowie Brachen und mit 1,0 kg/m<sup>2</sup> die Gewässer. Deutlich darunter liegen die Werte von Gärtnereien und Obstplantagen mit 0,8 kg/m<sup>2</sup>, Weinbaugebieten mit 0,4 kg/m<sup>2</sup> sowie urban-industriellen Flächen (mit Ausnahme von Wohnen mit Garten) mit 0,2 kg/m<sup>2</sup> bis 0,5 kg/m<sup>2</sup>.

59 % der gesamten Nettoprimärproduktion liefern die landwirtschaftlich-forstlichen Subsysteme. Mit je ca. 30 % entfällt dabei in etwa gleich viel auf die landwirtschaftlichen und forstlichen Flächen.

Tab. 3: Nettoprimärproduktion Wiens 1991. Grünanteil der Subsystemklassen bzw. der Subsysteme, Deckungsgrad der Vegetation (in Prozent), Nettoprimärproduktion der Subsysteme (= NPP t) und Nettoprimärproduktion pro m<sup>2</sup> (= NPP kg/m<sup>2</sup>). — Net primary production of Vienna in 1991. Vegetation-covered part of subsystem classes and subsystems (= Fläche m<sup>2</sup>), "Deckungsgrad" (i.e. degree of coverage) of subsystem areas (in %), net primary production of subsystems (= NPP t), and net primary production per m<sup>2</sup> (= NPP kg/m<sup>2</sup>).

Subsystemklasse/Subsystem	Fläche m <sup>2</sup>	Prozent	NPP t	NPP kg/m <sup>2</sup>
<b>landwirtschaftlich-forstlich</b>	150 525 883	96,5	274 904	1,76
Ackerflächen	61 962 993	98,8	129 643	2,07
Gärtnerereien, Obstplantagen	3 326 794	54,1	4 839	0,79
Weinbaugebiet	7 551 142	99,6	3 000	0,40
Auwald	16 209 344	98,1	31 560	1,91
M-Europ. Laubmischwald	61 702 546	99,7	104 160	1,68
Pannonischer Eichenwald	1 059 077	100,0	1 702	1,61
<b>gärtnerisch gestaltet</b>	36 897 709	79,6	58 199	1,26
Kleingärten	10 056 520	76,1	15 759	1,19
Park- und Grünanlagen	26 838 879	81,0	42 440	1,28
<b>urban-industriell</b>	69 428 387	38,0	102 009	0,56
Wohnen mit Garten	33 433 553	74,7	51 513	1,15
Wohnmischgebiet	16 598 171	32,6	24 715	0,49
Handel und Gewerbe	2 914 234	24,7	4 319	0,37
Industrie	5 548 146	29,5	7 275	0,39
Verkehrsfläche Bahn	2 987 129	31,3	4 736	0,50
Verkehrsfläche Straße	6 782 614	14,5	9 450	0,20
<b>brachliegende Flächen</b>	8 225 850	81,1	11 719	1,16
<b>Gewässer</b>	1 829 488	9,3	18 981	0,96
<b>Summe bzw. Durchschnitt</b>	266 908 609	64,7	465 811	1,12

Die gärtnerisch gestalteten Subsysteme tragen 12 % zur gesamten NPP bei. Die Park- und Grünanlagen weisen wegen ihrer Größe einen 2,6mal größeren Wert als die Kleingärten auf. Der Anteil der urban-industriellen Subsysteme beläuft sich auf 22 %, davon entfällt allein die Hälfte auf Wohnen mit Garten. Brachen und Gewässer haben mit 3 % bzw. 4 % einen ihrer Fläche entsprechenden geringen prozentuellen Anteil an der gesamten NPP Wiens (Tab. 3).

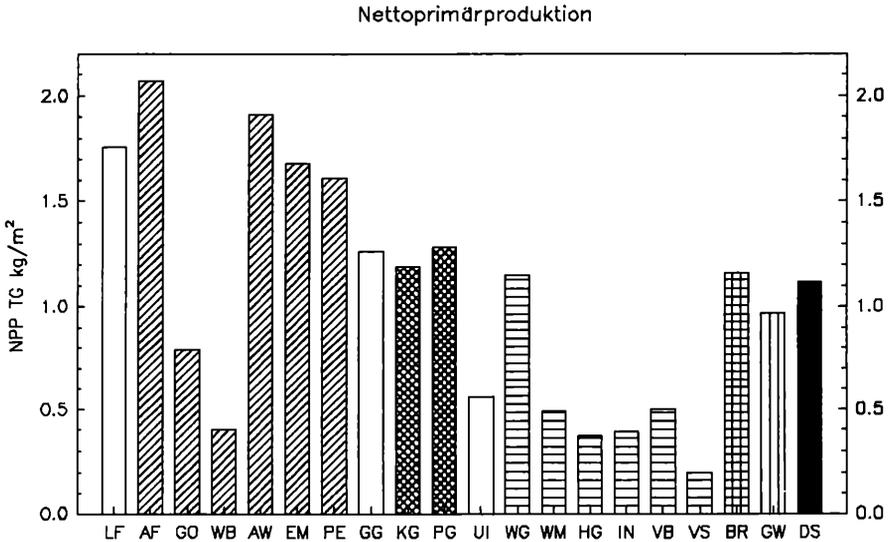


Abb. 2: Durchschnittliche Nettoprimärproduktion NPP der Subsystemklassen und der Subsysteme und die durchschnittliche NPP Wiens (= DS). LF landwirtschaftlich-forstlich, AF Ackerflächen, GO Gärtnereien und Obstplantagen, WB Weinbaugebiet, AW Auwald, EM Mitteleuropäischer Laubwald, PE Pannonischer Eichenwald; GG gärtnerisch gestaltet, KG Kleingärten, PG Park- und Grünanlagen; UI urban-industriell, WG Wohnen mit Garten, WM Wohnmischgebiet, HG Handel und Gewerbe, IN Industrie, VB Verkehrsfläche Bahn, VS Verkehrsfläche Straße; BR brachliegende Flächen; GW Gewässer. — Average net primary production of subsystem classes and subsystems. DS average for Vienna; LF agricultural and forest-related, AF arable land, GO gardening and fruit-growing, WB vineyards, AW floodplain forest, EM Central European deciduous mixed forest, PE Pannonian oak-forest; GG gardening, KG allotments, PG parks and gardens; UI urban-industrial, WG villa-type area, WM built-up area, HG trade and small-scale industry, IN industrial area, VB railway area, VS streets; BR bare; GW aquatic.

### Abgebaute organische Substanz und anthropogener Export aus den Biozöosen

Wenngleich Kohlenstoff in der Stadt vor allem aus der Verfeuerung von Brennstoffen in die Atmosphäre gelangt, stellt der natürliche Abbau einen wichtigen Teil des Kreislaufes dar. Um diesen letzteren Teil der C-Freisetzung zu berechnen, der in einem großen und heterogenen Gebiet direkt nur sehr schwer zu messen ist, wird davon ausgegangen, daß sich die gesamte pflanzliche Biomasse nach Ablauf des Jahres 1991 nicht verändert hat. Demnach wird jener Teil der Nettoprimärproduktion, der nicht vom Menschen geerntet oder auf andere Art exportiert wird, im Bestand abgebaut bzw. veratmet. Lediglich für die Wälder wurde eine Zunahme der Biomasse von 1 % angenommen, da nach der Waldzustandsinventur 1986/90 der

Tab. 4: Nettoprimärproduktion, Export von Biomasse und Abbau bzw. Respiration organische Substanz in den Subsystemen Wiens 1991. A + A: Abbau und Atmung (pro Subsystem und pro m<sup>2</sup>). Kohlenstoff und Sauerstoff beziehen sich auf die im jeweiligen Prozeß beteiligten Menge an C bzw. O. — Net primary production, biomass export, decomposition and respiration of organic matter in the subsystems of Vienna in 1991. A + A: decomposition and respiration (total per subsystem and per m<sup>2</sup>). Kohlenstoff (= carbon) and Sauerstoff (= oxygen) refer to the quantities involved in the respective process.

Subsystem	Fläche	NPP	Export	Zuwachs	A + A	A + A
	ha	t	t	t	t	kg/m <sup>2</sup>
Ackerflächen	6 271,6	129 643	38 720	0	90 923	1,45
GO + KG	1 935,3	20 598	7 481	0	13 117	0,68
WB	758,1	3 000	1 988	0	1 012	0,13
Auwald	1 652,4	31 560	2 540	4 006	25 014	1,51
EM + PE	6 296,7	105 862	17 387	16 458	72 016	1,14
PG + VS	8 007,5	51 890	1 546	0	50 342	0,63
WG	4 478,5	51 513	3 107	0	48 406	1,08
WM	5 093,8	24 715	1 556	0	23 508	0,46
HG	1 181,2	4 319	259	0	4 060	0,34
Industrie	1 883,8	7 275	536	0	6 739	0,36
VB	955,2	4 736	326	0	4 410	0,46
Brachen	1 014,0	11 719	0	0	11 719	1,16
Gewässer	1 967,2	18 981	56	0	18 925	0,96
<b>Summe</b>	<b>41 495,3</b>	<b>465 811</b>	<b>75 503</b>	<b>20 464</b>	<b>369 844</b>	<b>0,89</b>
Kohlenstoff		209 615	33 976	9 209	166 430	0,40
Sauerstoff		558 973	90 604	24 559	443 812	1,00

Gesamtholzvorrat in Wiener Wäldern um 5,2 % gegenüber der Inventur 1981/85 gestiegen war, also um durchschnittlich 1 % pro Jahr (Forstlich Bundesversuchsanstalt Wien 1993).

In Tabelle 4 sind Nettoprimärproduktion, Biomasseexport und natürliche Abbau für die Subsysteme dargestellt (s. auch Abb. 3). Der auf ganz Wien hochgerechnete natürliche Abbau beträgt mit ca. 369 844 t TG (166 430 t C oder 0,89 kg/m<sup>2</sup> nur 79 % der NPP, die in „reifen“ Ökosystemen zu 100 % veratmet bzw. biologisch abgebaut wird. Die restlichen 21 % entfallen auf Zuwachs und „Export“, also den nicht am Standort abgebauten Anteil. Von

dessen 75 503 t TG (rund 34 000 t C) (s. Abb. 3; gerundete Zahlen!) entfallen 6 100 t TG (2 700 t C — bei ca. 10 % anorganischer Bestandteile und 70 % Wassergehalt) auf Müllsammlung und Kompostierung. 48 200 t TG (21 700 t C) werden zur Ernährung genutzt. Der Rest, 21 200 t TG (rund 9 500 t C), wird als Brennholz (ca. 5 600 t TG, 2 500 t C, Magistrat der Stadt Wien MA 49 1992) verbrannt oder zu Ver- und Gebrauchsgütern wie Büchern, Stühlen, Papier und Tischen verarbeitet (ca. 15 600 t TG, 7 000 t C).

### **Zufuhr und Verbrauch von zusätzlichen Energieträgern**

Der Verbrauch bzw. die Umwandlung zusätzlicher Energie 1991 in Wien wird — aufgeteilt nach den einzelnen Energieträgern — in Tabelle 5 zusammengefaßt und beträgt ohne Nahrungsmittel 3 342 785 t bzw. 2 465 000 t C. Dabei werden 9 038 400 t Kohlendioxid und 5 003 300 t Wasser freigesetzt sowie 10 902 900 t Sauerstoff aus der Atmosphäre verbraucht (s. auch Abb. 3). Mit den Nahrungsmitteln beträgt der Verbrauch 4 583 556 t FG bzw. 2 698 700 t C. Da ein Teil der Nahrungsmittel als Abfall der Müllverbrennung zugeführt wird, ist dieser zu subtrahieren, um den tatsächlichen Gesamtverbrauch abschätzen zu können.

Der **Nahrungsmittelverbrauch** einschließlich der Abfälle, Tiernahrung etc. beträgt 1 240 771 t FG (s. Tab. 5); dem entsprechen 501 064 t TG (40,4 % Wassergehalt). Zu addieren ist der Anteil der Pendler (ÖSTAT 1994a) mit 21 337 t FG bzw. 8 620 t TG. Daraus ergibt sich der Gesamtverbrauch an Nahrung (Nahrungsmittelbedarf) mit 1 262 108 t FG bzw. 509 684 t TG bzw. 233 674 t C (Tab. 6, Abb. 3). Vom Frischgewicht bzw. Trockengewicht sind 68,85 % bzw. 71,77 % pflanzlichen und 31,15 % bzw. 28,23 % tierischen Ursprungs.

Derjenige **Abfall, der bei der Nahrungsmittelzubereitung** anfällt, kann über prozentuelle Abfallmengen des Bruttoverbrauches (Daten aus SOUCI et al. 1979) bestimmt werden und beträgt 47 443 t TG bzw. 82 813 t FG bzw. 21 918 t Kohlenstoff. Bei Berücksichtigung der Pendler würden sich die Werte um ca. 1,7 % erhöhen (vgl. auch dazu unten: Abfallflüsse).

Der **Nettoverbrauch an Nahrungsmitteln** geht aus der Differenz zwischen Bruttoverbrauch und Abfall hervor und beträgt (ohne Pendler; mit diesen erhöht sich der jeweilige Wert um 1,7 %)  $1\,240\,771\text{ t FG} - 82\,813\text{ t FG} = 1\,157\,958\text{ t FG}$  bzw.  $501\,064\text{ t TG} - 47\,443\text{ t TG} = 453\,621\text{ t TG}$ . Der Koh-

Tab. 5: Verbrauch an zusätzlicher Energie 1991 in Wien (Quelle: Wiener Stadtwerke 1991, 1992a und 1992b). Energie in GWh; Faktor CO<sub>2</sub>/Energie in t/GWh (Umrechnungsfaktoren aus dem Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten 1990). CO<sub>2</sub>-Emission, C-Gehalt des Energieträgers, gebildetes H<sub>2</sub>O und O<sub>2</sub>-Verbrauch in 1000 t. — "Additional" energy consumption in Vienna in 1991 (Wiener Stadtwerke 1991, 1992a and 1992b). Energy in GWh; calculation factors for CO<sub>2</sub>/energy in t/GWh from Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten (1990). Values for CO<sub>2</sub> emissions, carbon content, produced water, and oxygen consumption are given in 1000 t.

Verbrauch 1991		GWh	f	CO <sub>2</sub>	C	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>
Kohle	168 490 t	1 295		467,7	127,5	95,7	425,2
Holz	51 645 fm	199	368,0	73,2	20,0	30,0	53,2
flüssige Brennstoffe	706 265 t	8129	280,8	2 282,6	622,5	933,8	2 490,1
Erdgas	1 830 Mio m <sup>3</sup>	18 300	187,2	3 425,8	934,3	2 802,9	4 982,9
Treibstoffe	722 293 t	8 443	280,8	2 370,8	646,6	969,9	2 586,3
Strom		4 571					
Fernwärme		840					
Abfälle	453 835 t	1 162	360,0	418,3	114,1	171,1	365,1
Zwischensumme	3 342 785 t	42 939		9 038,4	2 465,0	5 003,3	10 902,9
Nahrung	1 240 771 t	2 584		856,8	233,7	266,5	682,7
<b>Summe</b>	<b>4 583 556 t</b>	<b>45 523</b>		<b>9 895,2</b>	<b>2 698,7</b>	<b>5 269,8</b>	<b>11 585,6</b>

Kohle		GWh	f	CO <sub>2</sub>	C	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>
Steinkohle	57 244 t	445	338,4	150,6	41,1	30,8	136,9
Braunkohle	8 613 t	46	349,2	16,1	4,4	3,3	14,6
Koks	102 633 t	804	374,4	301	82,1	61,6	273,7

Tab. 6: Gesamter Nahrungsmittelverbrauch der Konsumenten der „anthropogenen“ Nahrungskette in t. H-TG (Wasserstoff) und O-TG (Sauerstoff): Anteile am TG. C (Kohlenstoff): Anteil am Gesamtgewicht in t. — Total food consumption of "anthropogenic" food chain consumers in t. H-TG and O-TG: portion of H and O with respect to total dry weight. C: portion with respect to total weight.

Nahrung	FG	TG	H <sub>2</sub> O	C	H-TG	O-TG
pflanzlich	868 961	365 800	503 161	164 610	20 119	149 978
tierisch	393 147	143 884	249 263	69 064	9 496	27 338
<b>Summe</b>	<b>1 262 108</b>	<b>509 684</b>	<b>752 424</b>	<b>233 674</b>	<b>29 615</b>	<b>177 316</b>

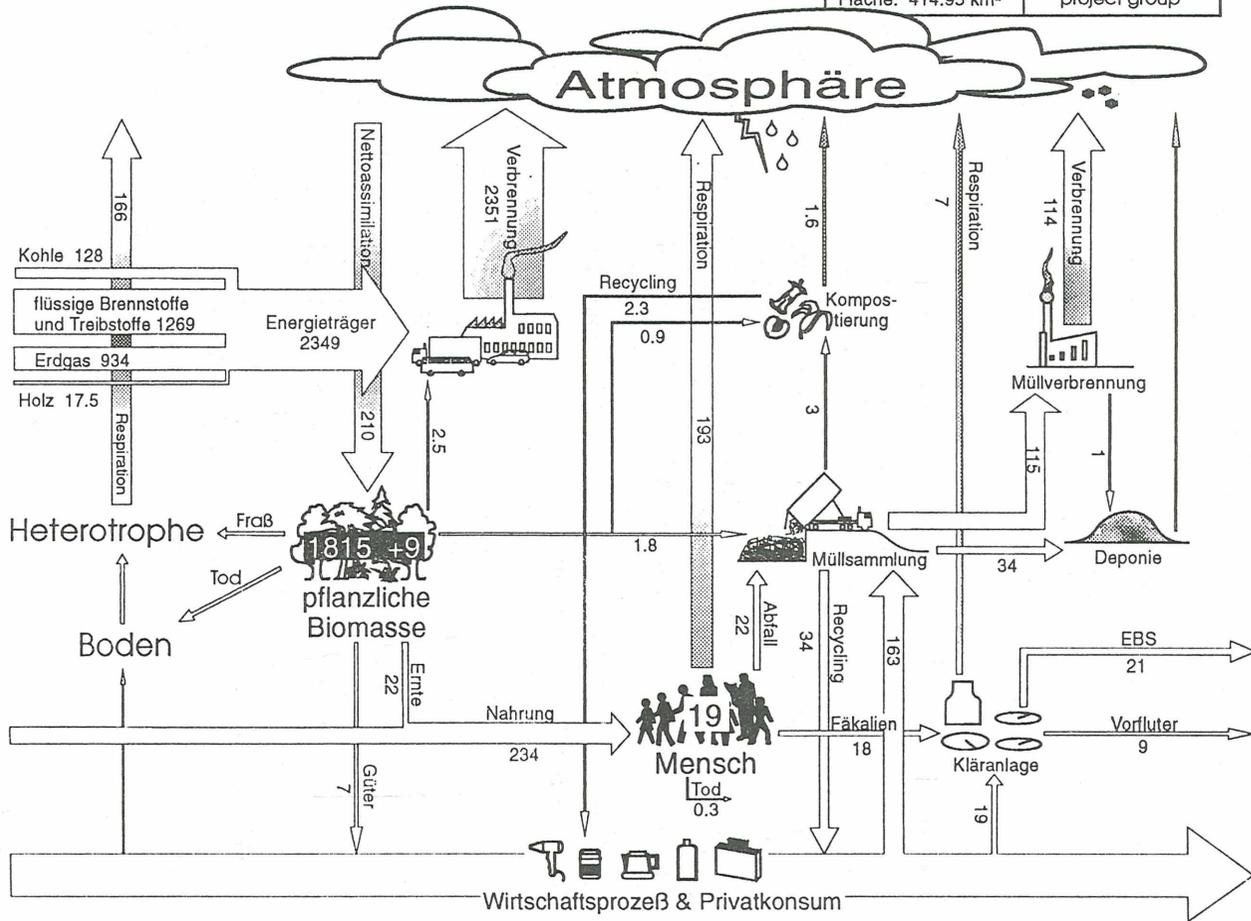
lenstoffgehalt des Nettoverbrauchs an Nahrungsmitteln beträgt — aufgeteilt nach tierischen und pflanzlichen Komponenten — 122 480 t TG  $\times$  0,48 + 331 141 t TG  $\times$  0,45 = 207 804 t (einschließlich der Pendler 211 337 t).

Der absorbierte Kohlenstoff wird assimiliert, veratmet (konsumierte absorbierte Nahrung) oder als Urin ausgeschieden. Die **absorbierte Nahrung** (SOUCI et al. 1979) besteht aus 45 364 t Eiweiß, 89 084 t Fett und 222 300 t Kohlenhydraten. Dies sind zusammen 356 749 t (tierisch 98 767 t und pflanzlich 257 982 t). Die absorbierte Kohlenstoffmenge beträgt somit 98 767 t  $\times$  0,65 + 257 982 t  $\times$  0,50 = 193 190 t (incl. Pendlern 196 474 t). Der **Tod** von 20 853 Menschen (Wien 1991 nach Magistrat der Stadt Wien 1992) vermindert die organische Substanz — bei einem durchschnittlichen Gewicht von 25,8 kg TG bzw. 12,4 kg C — um 538 t TG und 259 t C. Die Menge organischer Substanz im **Urin** wird über Durchschnittswerte (PLENERT & HEINE 1984) berechnet und beträgt 563 169 m<sup>3</sup> mit rund 13 360 t organischer Substanz und 3 154 t C (incl. Pendlern 3 208 t C). Die **Respiration** ergibt sich unter Vernachlässigung von Biomassezuwächsen als Resultierende: 193 190 t - 259 t - 3 154 t = 189 777 t C (193 003 t C incl. Pendlern). Die bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxidmenge beläuft sich auf 695 849 t (incl. Pendlern 707 678 t). Der Sauerstoffverbrauch liegt bei einem respiratorischen Koeffizienten von 0,86 bei 435 222 t (mit Pendlern bei 442 621 t). Die Menge an organischer Substanz und Kohlenstoff in den **Fäkalien** läßt sich als Differenz der verzehrten und absorbierten Nahrung abschätzen und beträgt 356 749 t bzw. 14 614 t C, incl. Pendlern 14 862 t C (s. Abb. 3).

### Abfallflüsse

1,4 Mio. t feste Abfälle wurden 1991 entsorgt. Fast die Hälfte davon (0,58 Mio. t Schutt und Aushub verschiedener Quellen, 34 911 t aus der Straßenreinigung und 16 481 t Sandfanggut) ist Inertmaterial, das ohne weitere Be-

Einwohner: 1539848  
 Fläche: 414.95 km<sup>2</sup>  
**URBAN ECOLOGY**  
 project group



handlung deponiert werden kann. Von den 0,8 Mio. t behandelten oder getrennt gesammelten Mülls stammen 0,62 Mio. t oder 405 kg pro Einwohner aus Haushalten, weitere 72 693 t werden von der MA 48 gesammelt, und 100 769 t stammen aus Fremdquellen. Von den 0,8 Mio. t behandeltem Müll gelangen 0,28 Mio. t auf die Deponie Rautenweg, weitere 16 862 t (Reststoffe der Abfallbehandlungsanlage sowie Fremdanlieferungen) werden ebenfalls dort abgelagert. Nachdem für die Verwertung der heterogenen und zum Teil verschmutzten Kunststofffraktion bislang keine geeignete Technologie zur Verfügung steht, wird diese zunächst deponiert und soll künftig nach einer Aussortierung des weiterverwertbaren Anteils von 15-20 % (MA 48, pers. Mitt.) verbrannt werden. Deponiert wird auch 19 990 t Bauschutt, ebenso der behandelte Teil des Altholzes. 0,34 Mio. t werden in den Müllverbrennungsanlagen Flötzersteig und Spittelau verbrannt, wobei 96 308 t Schlacke und Asche zurückbleiben, die, mit weiteren 39 521 t aus den Entsorgungsbetrieben Simmering und von anderen Orten, mit 72 836 t Zuschlagstoffen zu Schlackenbeton verarbeitet werden, der größtenteils zur Randwallschüttung in der Deponie Rautenweg dient. 75 505 t werden in der Abfallbehandlungsanlage Rautenweg getrennt, wobei 5 788 t auf die Deponie gelangen, nachdem 294 t Sonderabfälle aussortiert und 69 423 t Altstoffe gewonnen worden sind. Neben den aussortierten Altstoffen werden 76 148 t getrennt gesammelt, das gleiche trifft für 7 803 t Eisenmetalle zu, die vom Magnetscheider der Müllverbrennungsanlagen anfallen. Damit werden von den behandelten Abfällen 0,18 Mio. t bzw. 22 % Altstoffe gewonnen, 0,42 Mio. t (53 %) deponiert und der Rest verbrannt. Von den getrennt gesammelten Altstoffen kamen allerdings 1991 der Bauschutt, behandeltes Holz sowie Kunststoffe ebenfalls auf die Deponie (s. oben). Unter den Altstoffen ist das Kompostrohmaterial für den biologischen Kreislauf von besonderem Interesse, da die Kompostierung organischer Abfälle am meisten dem natürlichen Kreislauf entspricht. 1991 wurden von der MA 48 insgesamt 24 822,5 t Kompostrohmaterial gesammelt sowie 2 842,6 t Altholz, das, abgesehen von dem relativ geringem Anteil behandelten Holzes, ebenfalls als Kompostbeisatz Verwendung findet. Im Müllbericht nicht enthalten sind die von der MA 42 (Stadtgartenamt) in einer eigenen Anlage kompostierten Abfälle (39 832 m<sup>3</sup>), von denen der Großteil (34 391 m<sup>3</sup>) aus der Parkpflege der MA 42, 1 741 m<sup>3</sup> aus der Gewässerpflege (MA 45) und 3 700 m<sup>3</sup> von privaten Firmen stammen. Für diese nur volumsmäßig erfaßten Mengen wird von ei-

nem durchschnittlichen Raumgewicht von  $0,107 \text{ t/m}^3$  ausgegangen, das bei einer Pilotstudie für Grünabfälle der Stadtgemeinde Schwechat (LECHNER et al. 1994) ermittelt wurde.

In den letzten Jahren wurde die dezentrale Eigenkompostierung des organischen Abfalles gefördert, was vor allem in Kleingartensiedlungen und zum Teil in den Wohnhausgegenden mit Privatgärten eine wichtige Rolle spielen dürfte, allerdings nicht abschätzbar ist.

Die im gesammelten Müll enthaltene Menge organischen Kohlenstoffs liegt (1991) bei ca. 185 100 t (s. Abb. 3). Der in den getrennt gesammelten und größtenteils wiederverwerteten Altstoffen vorliegende Kohlenstoff wiegt 36 400 t. Der organische Kohlenstoffanteil des zu kompostierenden Materials (31 900 t FG, davon sind 24 800 t FG offiziell gesammelt) beläuft sich — bei ca. 10 % anorganischen Bestandteilen und 70 % Wassergehalt — auf rund 3 900 t. Davon sind rund 1 300 t C Nahrungsmittelabfälle. Einschließlich der Kompostierung werden 36 500 t C in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Zur Müllverbrennung werden rund 115 070 t C angeliefert; davon werden 114 090 t C verbrannt (sie gehen in die Atmosphäre) und rund 980 t C (bei 20 % Wassergehalt, 2 % organische Substanz des TG und 45 % C der organischen Substanz, unveröff. Daten der Fernwärme Wien) deponiert (s. Abb. 3). Zusammen mit der direkt deponierten Menge von 33 600 t C werden also insgesamt 34 600 t C deponiert.

Bei der Kompostierung werden rund 40 % — das waren 1991 1 560 t Kohlenstoff (der nicht mineralischen Bestandteile) — veratmet (entsprechend 5 700 t  $\text{CO}_2$  bzw. etwa 4 200 t  $\text{O}_2$ ) und 60 % (1991: 2 340 t) gelangen in den Kompost und werden „wiederverwertet“ (LECHNER et al. 1994). Da sich der prozentuelle Anteil der mineralischen Bestandteile an der Trockensubstanz erhöht, werden sie beim Prozeß konzentriert. Unter der Annahme, daß der Wassergehalt konstant ist und daß 3 900 t organische Substanz veratmet werden, werden rund 28 000 t in den Wirtschaftsprozess zurückgeführt.

Von den Nahrungsmittelabfällen (insgesamt 82 813 t FG, 21 918 t C) wird der oben erwähnte Teil kompostiert; der Rest, etwa 20 578 t C, wird deponiert oder verbrannt. Unter der Annahme, daß das Verhältnis von deponiertem zu verbranntem Kohlenstoff des gesamten „behandelten Abfalls“ (23 % deponiert und 77 % verbrannt) auch auf die Nahrungsmittelabfälle zutrifft, wird der verbrannte Kohlenstoff auf rund  $15,8 \times 10^3$  t und der deponierte auf rund  $4,7 \times 10^3$  t geschätzt. Die Umsätze (Oxidierung organischer Substanzen) der Mülldeponien müssen hier wegen der mangelhaften Datenlage allerdings unberücksichtigt bleiben.

In die Abfallflüsse sind auch jene Mengen einzubeziehen, die gelöst oder partikulär in das Kanalsystem gelangen und sich in den Kläranlagen absetzen, abgebaut werden oder in den Vorfluter gelangen. Die im Abwasser enthaltenen gelösten oder nicht absetzbaren mineralischen Stoffe machen laut BRETSCHNEIDER et al. (1993) im Hauswasser etwa 40 % der gesamten gelösten und ungelösten Fracht aus, werden aber nicht erfaßt, da sie weder im Absetzbecken verbleiben noch mikrobiell abgebaut werden. Der flüssige Abfall (= Abwässer) wird zu etwa 92,5 % zur Hauptkläranlage (HKA) geleitet und der Rest von der Kläranlage Blumental entsorgt. Von der Hauptkläranlage wurden für 1991 die Daten des täglichen Zuflusses (in m<sup>3</sup>) sowie die Konzentrationen des TOC (= total organic carbon) im Zu- und Abfluß zur Verfügung gestellt. In die HKA fließen 34 270 t C<sub>org</sub>, was bei einem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 50 % 68 540 t organischer Trockensubstanz entspricht. Von der HKA gelangen 8 219 t C<sub>org</sub> oder 16 438 t an organischem Material in den Vorfluter (Donau). Da 92,5 % des Abwassers zur KHA und 7,5 % zur Kläranlage Blumental fließen, ist — vorausgesetzt die Konzentrationen und die Reinigungsleistung sind vergleichbar — mit insgesamt 37 049 t organischem Kohlenstoff im Abwasser zu rechnen, von dem 8 885 t in die Vorfluter fließen, was einer Reinigungsleistung von 76 % für C<sub>org</sub> entspricht (s. Abb. 3). Ähnlich dem Abwasser steigt bei starken Regenfällen auch die Gesamtmenge an TOC deutlich an; dies bedeutet nicht nur, daß das Schmutzwasser durch den Regen verdünnt wird, sondern auch, daß das Regenwasser, das von Straßen etc. abfließt, beträchtliche Mengen organischen Materials mitschwemmt. Zudem ist die Reinigungsleistung der Kläranlage bei größeren Wassermengen geringer, da die Verweilzeit reduziert wird. 16 481 t großenteils anorganisches Material werden als Sandfanggut in der HKA abgesetzt und deponiert. In der Hauptkläranlage fielen 1991 56 671 t Trockengewicht als Klärschlamm an, der in der EBS verbrannt wurde, wobei 17 000 t mineralisches Material als Asche übrigblieben. Von der Kläranlage Blumental liegen keine entsprechenden Angaben vor; da 7,5 % der Abwässer dort gereinigt werden, wird angenommen, daß 4 595 t Klärschlamm mit 1 378 t mineralischem Anteil anfielen. Aus der Differenz zwischen Klärschlamm und Aschenrest ergibt sich, daß 42 888 t organischer Trockensubstanz (21 444 t C) oder 57,9 % abgesetzt wurden; 17 770 t (8 885 t C) oder 24,0 % gelangten in die Vorfluter, und der Rest von 13 440 t (6 720 t C; 24 640 t CO<sub>2</sub>; ca. 17 920 t O<sub>2</sub>) oder 18,1 % wurde biologisch abgebaut (s. Abb. 3).

## Kohlenstoffbilanz

Formal kann die Gesamtkohlenstoffbilanz Wiens aus der „natürlichen“ und der „anthropogenen“ Kohlenstoffbilanz abgeleitet werden.

„Natürliche“ Kohlenstoffbilanz:

$$\begin{aligned}
 0 &= \text{NPP} - \text{DW} - d_r - \text{Transport}_a \\
 \text{CA}_n &= \text{NPP} - d_r = \text{DW} + \text{Transport}_a \\
 43 \times 10^3 \text{ t} &= 210 \times 10^3 \text{ t} - 166 \times 10^3 \text{ t} = 9 \times 10^3 \text{ t} + 34 \times 10^3 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$\text{CA}_n$	=	Kohlenstoffbilanz der Biozöosen
NPP	=	Nettoprimärproduktion
DW	=	Differenz Biomasse
$d_r$	=	Respiration
$\text{Transport}_a$	=	direkter anthropogener Transport

Anthropogene Kohlenstoffbilanz (organischer Kohlenstoff einschließlich des fossilen C, ohne Berücksichtigung des Exports und Imports von Gütern, s. Methodik):

$$\begin{aligned}
 \text{CA}_a &= F_v + O_v + N_v + A_o \\
 - 2\,666 \times 10^3 \text{ t} &= - 2\,331 \times 10^3 \text{ t} - 20 \times 10^3 \text{ t} - 193 \times 10^3 \text{ t} - 122 \times 10^3 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$\text{CA}_a$	=	Kohlenstoffbilanz der Anthroposphäre
$F_v$	=	Verbrauch an fossilen Energieträgern
$O_v$	=	Verbrauch an organischen Hilfsenergieträgern (z.B. Holz)
$N_v$	=	Respiration der Nahrung
$A_o$	=	Oxidation von Abfällen

Der oxidierte Abfall resultiert aus der Müllverbrennung, Kompostierung und Abwasserreinigung. Zusätzlich wären noch die Umsätze der Mülldeponien zu berücksichtigen; dies war im Rahmen dieser Studie jedoch nicht möglich.

Die Kohlenstoffbilanz von Wien kann für 1991 folgendermaßen formuliert werden:

$$\begin{aligned}
 \text{CA} &= \text{CA}_a + \text{CA}_n \\
 - 2\,623 \times 10^3 \text{ t} &= 2\,666 \times 10^3 \text{ t} + 43 \times 10^3 \text{ t}
 \end{aligned}$$

CA	=	Kohlenstoffbilanz
----	---	-------------------

Eine vereinfachte Darstellung der Kohlenstoffgehalte und -ströme Wiens zeigt Abbildung 3. Zusammenfassend sei festgehalten, daß bereits der Kohlenstoffanteil der in das System importierten Nahrung zehnmal so hoch ist wie die Nahrung aus dem System selbst (Ernte) und höher als der durch

die Nettoassimilation fixierte Kohlenstoff. Auch die durch die Respiration der Heterotrophen, die menschliche Respiration und durch die Müllverbrennung freigesetzte Kohlenstoffmenge liegt in der gleichen Dimension; die Kohlenstoffmenge der anthropogen importierten Energieträger übersteigt den assimilierten Kohlenstoff bereits um das 10fache!

Insgesamt wurden im Jahr 1991 in Wien ca. 2,6 Mio. t Kohlenstoff in die Atmosphäre abgegeben, der Großteil davon anthropogen; dem standen lediglich 0,2 Mio. t Kohlenstoff gegenüber, die durch die Vegetation gebunden wurden.

## Diskussion

Die angewandte Methodik zur Berechnung der **Biomasse** und **Nettoprimärproduktion** setzt auf mehreren Ebenen an und läßt sich am ehesten mit der Erhebung der regionalen Produktivität von North Carolina (SHARP et al. 1975) und mit den Berechnungen der Nettoprimärproduktion von Brüssel (DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET 1977) vergleichen. Ähnlich der erstgenannten Studie wurden möglichst viele Produktionsdaten zur Berechnung (Ernte- und Zuwachsdaten) herangezogen (untere Ebene). Ähnlich wie bei der Vorgangsweise im zweiten Modell wurden durchschnittliche NPP- und Biomassewerte mit dem Deckungsgrad der Vegetation multipliziert (obere Ebene). Die Weiterentwicklung des Konzeptes liegt in der Unterteilung in vier unterschiedliche Kategorien der Bodenbedeckung (Baum-, Strauch-, Kraut- sowie Sonderfläche mit Acker, Weingarten und Wasserfläche), die durch Luftbildinterpretation gewonnen wurden, und in der Aufgliederung der Stadt in Subsysteme. Die unteren Ebenen liefern die Daten für die in der oberen Ebene einzusetzenden Biomasse- und NPP-Werte, wobei möglichst viele lokale Ertrags- (Landwirtschaft) und Zuwachsdaten (Wälder) eingebunden wurden. Wo dies nicht möglich war, wurden Literaturangaben über die NPP und Biomasse ausgewertet und herangezogen. Der große Vorteil dieser Vorgangsweise liegt in der Praktikabilität und Flexibilität, die es erlaubt, verschiedenste Datenquellen zu benutzen; dies ist gerade in der Stadt wegen der Heterogenität notwendig. Dabei zeigen sich hinsichtlich der Datenlage große Unterschiede. Die Erträge der landwirtschaftlichen Subsysteme sind gut dokumentiert, die vorhandenen Umrechnungsfaktoren zur Berechnung der Nettoprimärproduktion aus dem Ertrag für Äcker und Weinbaugebiete zumindest ausreichend. Für die Gärtnereien und somit auch für die Obstplantagen ergeben sich aber Probleme, da einige Produkte in den Statistiken nicht erfaßt werden. Der in einigen Studien

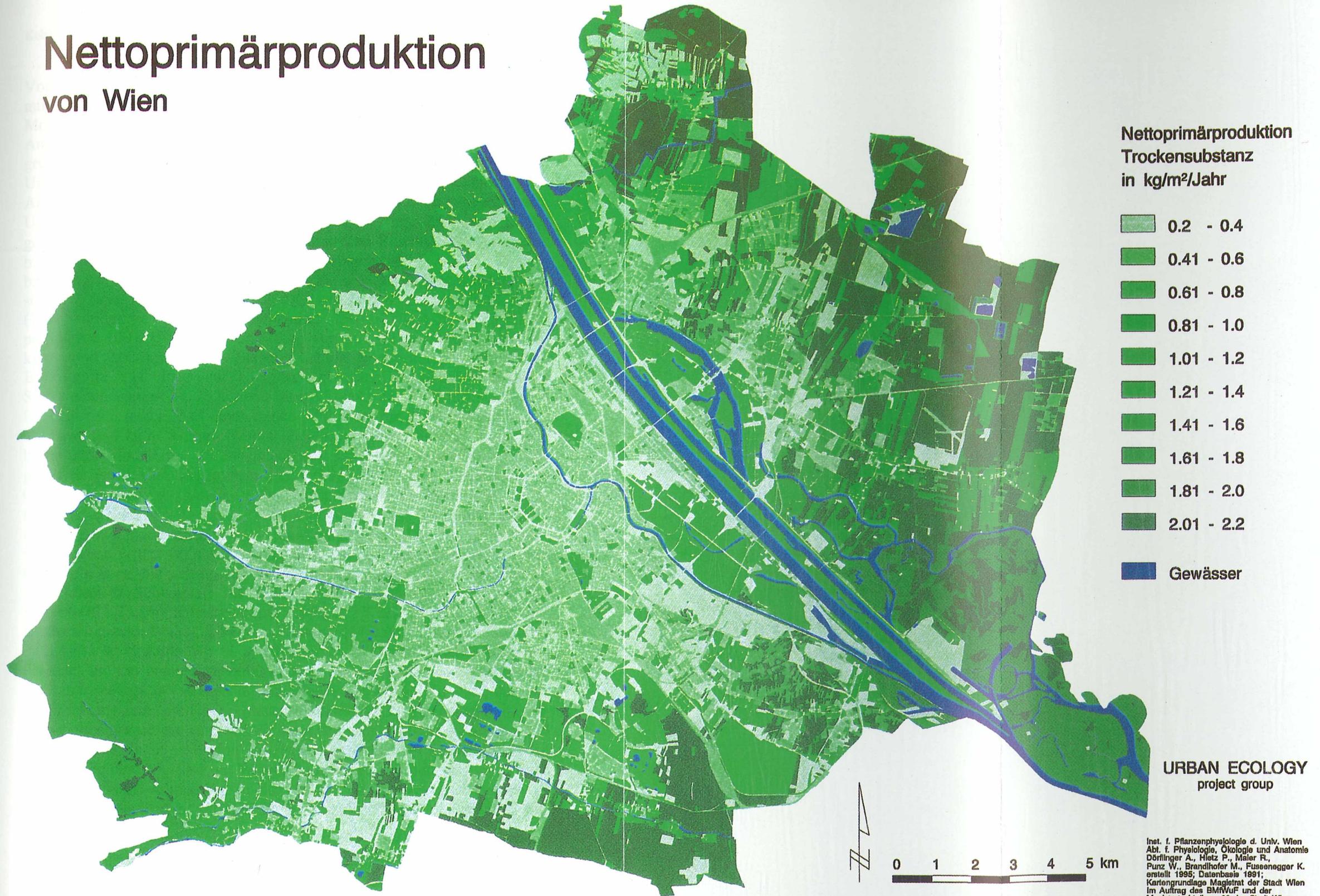
verwendete Ernteindex (z.B. SHARP et al. 1975) ist für Forste nicht geeignet, vor allem weil Ernten in Wäldern zeitlich und räumlich äußerst unterschiedlich erfolgen. Er sollte somit, falls dies möglich ist, durch den hier verwendeten Stammzuwachsindex ersetzt werden. Allerdings ist die Verwendung derartiger Indexzahlen grundsätzlich problematisch, da gerade im Fall der Wälder noch erheblicher Forschungsbedarf besteht. Auch der Anteil der Mykorrhiza und der Feinwurzeln an der gesamten Nettoprimärproduktion ist noch unzureichend untersucht (z.B. YIN et al. 1989, NADELHOFFER & RAICH 1992). Laut manchen Studien beträgt der Beitrag der Mykorrhiza allein 15 %, der von Mykorrhiza und Feinwurzeln zusammen bis zu 75 % der gesamten NPP (VOGT et al. 1982, FOGEL 1983). NADELHOFFER & RAICH (1992) verglichen 59 publizierte NPP-Werte mit der Feinwurzelproduktion (= FRP) und kamen zum Ergebnis, daß die FRP eine große Variation zeigt und es keine Korrelation zwischen oberirdischer NPP und FRP auf der Basis der heutigen Datenlage gibt. Der bei dieser Studie gewählte durchschnittliche Faktor „Zuwachs zu NPP“ von 3,5 liegt knapp unter der von HABERL (1994) geschätzten Bandbreite von 3,6 bis 4,5, die den Anteil der Mykorrhiza einbeziehen soll. Andererseits liegt der Faktor, der sich aus einer Studie von LAUSCHER & ROLLER (1987) — 53 Gebiete mit 9 Waldarten — ergibt, um rund 14 % niedriger. So erscheint der hier gewählte Faktor als Annäherungswert gerechtfertigt.

Die Berechnung der Biomasse auf der Basis von Stammvorratsdaten der Forstinventur bereitet keine Schwierigkeiten bei den forstlich geprägten Subsystemen, zur Umlegung auf andere Subsysteme fehlen aber entsprechende Daten. Für die mit Sträuchern und krautig/grasiger Vegetation bedeckten Flächen wurden Durchschnittswerte aus der Literatur verwendet. Die Datengrundlage zur Berechnung der Biomasse sollte gemeinsam mit der zur Nettoprimärproduktion verbessert werden. Die Kalkulation der aktuellen Biomasse- und NPP-Werte aus klimatischen Daten ist wegen des großen anthropogenen Einflusses nicht zielführend.

Die durchschnittliche pflanzliche Biomasse ist in Wien mit  $10 \text{ kg/m}^2$  Trockensubstanz und die durchschnittliche NPP mit  $1,1 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  relativ hoch. In den urban-industriellen Subsystemen selbst betragen die Biomasse  $6 \text{ kg/m}^2$  und die NPP  $0,56 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ . Während sich die höchste Biomasse in den bewaldeten Teilen Wiens findet, ist die Biomasse in den landwirtschaftlichen Gebieten geringer als im innerstädtischen Bereich. Die unterschiedliche Verteilung von Nettoprimärproduktion und Biomasse macht sich vor allem darin bemerkbar, daß das landwirtschaftliche Subsystem Ackerflächen mit der geringsten Biomasse die höchste Produktion aufweist.

# Nettoprimärproduktion von Wien

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria, download unter [www.biologiezentrum.at](http://www.biologiezentrum.at)





Von anderen Städten liegen kaum detailliertere Schätzungen und Berechnungen vor. Dies liegt nicht zuletzt an der Komplexität des benötigten Modells, die durch die Heterogenität der Stadt bedingt ist, und dem hohen Aufwand, der notwendig ist, um eine einigermaßen ausreichende Datengrundlage zu schaffen. Zudem ist ein Vergleich allgemein problematisch: Unterschiede können auf die Anwendung verschiedener Methoden bzw. Annahmen zurückzuführen sein, die Abgrenzungen der Stadt gegenüber dem Umland sind willkürlich etc. BOLIN et al. (1979) und BRAMRYD (1982) geben für Städte allgemein eine durchschnittliche Biomasse von  $3,5 \text{ kg/m}^2$  bzw.  $6 \text{ kg/m}^2$  und eine durchschnittliche Nettoproduktion von  $0,5 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  bzw.  $1 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  an, wobei BRAMRYD auch kleinere Städte berücksichtigt und so auf höhere Werte kommt. Nach DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET (1977) beträgt die Biomasse für Brüssel ca. 750 000 t und die Nettoprimärproduktion 100 000 t. Bei einer Fläche von  $161 \text{ km}^2$  ergibt das rund  $4,6 \text{ kg/m}^2$  und  $0,62 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ . In Berlin wird die Nettoprimärproduktion von BORNKAMM et al. (1984) auf  $0,5 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  geschätzt, wobei die Autoren der Studie einen Wert von  $0,25 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  bis  $0,3 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  für die Siedlungsflächen für realistisch halten. Auf einen hohen NPP-Wert für Wien mit 0,6 Mio. t TG bzw.  $1,44 \text{ kg/m}^2$  kommt HABERL (1995) mit einem für ganz Österreich bestimmten Modell und der entsprechenden Auflösung. SHARP et al. (1975) geben für North Carolina in ihrer Studie (1971, 1972) eine Bandbreite von  $0,4 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  bis  $15,4 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  als Durchschnittswerte der einzelnen „Counties“ und  $0,8 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  für ganz North Carolina an. Auf globaler Ebene — diese Werte sind allerdings mit der notwendigen Zurückhaltung zu betrachten — geben WHITTAKER & LIKENS (1975) eine durchschnittliche NPP von  $0,34 \text{ kg/m}^2/\text{a}$  an, die sich auszugsweise folgendermaßen aufteilt: terrestrisch (einschließlich Süßwasser)  $0,8 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ , marin  $0,16 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ , tropischer Regenwald  $2,2 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ , immergrüner temperater Wald  $1,3 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ , laubwerfender temperater Wald  $1,2 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ , Tundra  $0,14 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ , kultiviertes Land  $0,65 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ , extreme Wüste  $0,003 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ . Weltweit gesehen ist Wien demnach ein Ort hoher Produktivität, trotz der menschlichen Eingriffe und der damit bedingten Verringerung der Produktion. Dies sollte nicht nur eine Verpflichtung sein, die Gegebenheiten nicht weiter zu verschlechtern, sondern vielmehr auch ein Ansporn, sie zu verbessern. Es ist zu bedenken, daß der weltweite Anteil an hochproduktiver und produktiver Fläche gering ist. Große Teile der Erde sind mit Wüsten bedeckt. Sie reichen von den Tropen über die Trockenwüsten bis zu den Kältewüsten der polaren Breiten (s. Karte der Nettoprimärproduktion der Welt in WHITTAKER & LIKENS 1975).

Der **Kohlenstoffhaushalt** zeigt hinsichtlich der natürlichen und anthropogenen Umsetzungen eine dem Energiehaushalt entgegengesetzte Charak-

teristik (vgl. DÖRFLINGER et al. 1995, PUNZ et al. 1996). Die anthropogene Kohlenstoffumsetzung ist um ein Vielfaches höher als die natürliche. Die Hauptemissionsquelle von Kohlenstoff auf anthropogener Ebene ist in erster Linie die Verbrennung von Energieträgern. Die Respiration der Menschen (mit Haustieren), der Betrieb von Kläranlagen und in geringem Ausmaß Kompostierung tragen zusätzlich zur Kohlenstofffreisetzung bei. Von den Biozönosen wird vergleichsweise wenig Kohlenstoff abgegeben. Bilanzmäßig wird sogar mehr durch Pflanzen fixiert.

Durch die Verbrennung von Energieträgern (fossilen Brennstoffen etc.) wurden 1991 2,7 Mio. t Kohlenstoff freigesetzt, die als Kohlendioxid (fast 10 Mio. t) zum Anstieg der Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre beitragen. Damit übertrafen die anthropogenen Emissionen den durch die Pflanzen assimilierten Kohlenstoff mit 0,21 Mio. t Kohlenstoff um fast das 13fache. Nach DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET (1977) wird in Brüssel die jährliche durch den Menschen bedingte Kohlenstoffemission (ca. 1,7 Mio. t C) 46mal höher eingeschätzt als die jährliche C-Fixierung durch die Nettoprimärproduktion (0,038 Mio. t C). Allerdings muß berücksichtigt werden, daß der Brüsseler Studie andere, zum Teil niedrigere Produktionsdaten zugrunde liegen. Da in Wien 0,17 Mio. t C durch Heterotrophe wieder oxidiert werden, werden durch die Biozönosen hier lediglich 0,044 Mio. t netto fixiert. Davon werden 0,034 Mio. t durch den Menschen aus den Biozönosen „exportiert“, und um 0,09 Mio. t C wird die pflanzliche Biomasse auf 1,9 Mio. t gesteigert. Dies bedeutet, daß durch die anthropogene Energieumwandlung um über 61mal mehr Kohlenstoff freigesetzt als durch die Biozönosen netto fixiert wird; das ist rund 1,4mal mehr, als der Kohlenstoffgehalt der gesamten Pflanzendecke Wiens ausmacht.

BRAMRYD (1982) versuchte weltweit die Kohlenstoffpools von Städten und deren jährliche C-Produktion (in Klammer) aufzuaddieren (in  $10^6$  t): Menschen 30, Phytomasse 3 000 (5), Mobilien (Bücher, Tische etc.) und Immobilien 3 500, Boden 20 000, fester Abfall ? (160), Klärschlamm ? (1). Dies ergibt zusammen einen Pool von 26 530 Mio t Kohlenstoff mit einer jährlichen Produktion von 166 Mio. t C. Laut BRAMRYD ist diese Langzeitakkumulation von Kohlenstoff in Städten mit jener von natürlichen Ökosystemen vergleichbar. So schlägt er vor, den Pool der Städte zu nutzen, um der Anreicherung des Kohlendioxids in der Atmosphäre entgegenzuwirken (z.B. durch Verringerung der Müllverbrennung und Steigerung der Deponiemenge). Diese Idee kann bei genauerer Betrachtung nur in der Theorie funktionieren. Würde man sie konsequent anwenden, würde dies nämlich bedeuten, daß genau so viel Biomasse (in C) akkumuliert bzw. deponiert werden müßte, wie Kohlenstoff freigesetzt würde. Für Wien hieße dies, daß

jährlich 1,4mal die gesamte Pflanzendecke Wiens so deponiert werden müßte, daß keine kohlenstoffhaltigen Emissionen entstünden. Der Versuch, die Symptome der durch den Menschen verursachten Entwicklung zu behandeln, geht also am Ziel vorbei und würde mehr schaden als nützen. Eine Verringerung der anthropogenen Kohlenstoffemissionen ist und bleibt der einzig gangbare Weg.

## Dank

Für die finanzielle Unterstützung danken wir dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (Dr. Christian SMOLINER) und der Stadt Wien (Bürgermeister Dr. Michael HÄUPL).

Weiters danken wir den Mitarbeitern folgender Institutionen: Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten Sektion VIII/2b; Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Wien; Büro des amtsführenden Stadtrates für Umwelt und Sport (Wien); Energiereferat der Wiener Stadtwerke; Entsorgungsbetriebe Simmering, Hauptkläranlage Wien; Fernwärme Wien Ges. m.b.H.; Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien; Interdisziplinäres Institut für Forschung und Fortbildung; Höhere Bundeslehr- und -versuchsanstalt für Wein- und Obstbau, Klosterneuburg; Institut für interdisziplinäre Erforschung der Mensch-Tier-Beziehung; Institut für Ernährungswissenschaften; Magistrat der Stadt Wien (MA 22, 31, 41, 48, 49, 60 und 66); Institut für Zoologie, Universität Wien; Österreichisches Statistisches Zentralamt; Umweltbundesamt.

## Literatur

- AUER I., BÖHM R. & MOHNL H., 1989: Klima von Wien. Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung, Bd. 20. Magistrat der Stadt Wien.
- BAUMÜLLER J., 1981: Stadtklima, Stadtreief und städtebauliche Planung. In: Stadtökologie. Tagungsbericht 1/81, p. 16-33. Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Laufen.
- BOLIN B., DEGENS E. T., DUVIGNEAUD P. & KEMPE S., 1979: The global biogeochemical carbon cycle. In: BOLIN B., DEGENS E. T., KEMPE S. & KETNER P (Eds.), The global carbon cycle, p. 1-56. Scope 13. Wiley, Chichester, New York, Brisbane, Toronto.

- BORNKAMM R., 1981: Zusammensetzung, Biomasse und Inhaltsstoffe der Vegetation während zehnjähriger Sukzession auf Gartenboden in Köln. *Decheniana* 134, 34-48.
- BORNKAMM R., 1984: Experimentell-ökologische Untersuchungen zur Sukzession von ruderalen Pflanzengesellschaften. II. Quantität und Qualität der Phytomasse. *Flora* 175, 45-74.
- BORNKAMM R., REBELE F. & WERNER P., 1984: Untersuchungen zur ökologischen Bedeutung industrieller Brach- und Restflächen in Berlin (West). Förderungsprogramm der Freien Universität Berlin für junge Wissenschaftler 3. Berlin.
- BOWEN H. J. M., 1966: Trace elements in biochemistry. Academic Press, New York.
- BOYNTON W. R., HALL C. A., FALKOWSKI P. G. KEEFE C. W & KEMP W. M., 1983: Phytoplankton productivity in aquatic ecosystems. In: LANGE O. L., NOBEL P. S., OSMOND C. B. & ZIEGLER H. (Eds.), *Physiological plant ecology IV Encyclopedia of Plant Physiology*, New Ser. Vol. 12 D, p. 305-328. Springer, Berlin.
- BRAMRYD T., 1982: Fluxes and accumulation of organic carbon in urban ecosystems on a global scale. In: BORNKAMM R., LEE J. A. & SEAWARD M. R. D. (Eds.), *Urban ecology*, p. 3-12. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- BRETSCHNEIDER H., LECHNER K. & SCHMIDT M., 1993: Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 7. Aufl. Parey, Berlin, Hamburg.
- BRUNNER F., 1994: Die unverstandene Katze. Naturbuch Verlag, Augsburg.
- Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, 1990: Energiebericht der Österreichischen Bundesregierung, p. 28-32. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien.
- BURIAN K., 1979: Die Pflanze in der Großstadt. In: Hundert Jahre Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien, p. 129-132.
- CALDWELL M., 1975: Primary production of grazing lands. In: COOPER H. (Ed.), *Photosynthesis and productivity in different environments*. International Biological Programme 3, p. 41-73. Cambridge University Press, New York.
- DÖRFLINGER A. N., 1994: Biomasse und Detritus von Brachflächen in Wien. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 131, 119-139.

- DÖRFLINGER A. N., 1995a: Quantifizierung ökologischer Parameter im urbanen Raum. Diss. Univ. Wien.
- DÖRFLINGER A. N., 1995b: Struktur und produktionsbiologische Daten von Brachflächen in Wien. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 132, 219-231.
- DÖRFLINGER A., MAIER R. & PUNZ W., 1993: Forschungsprojekte zur Stadtökologie in Wien. Tischvorlage Arbeitstreffen AK Stadtökologie, Osnabrück.
- DÖRFLINGER A. N., HIETZ P., MAIER R., PUNZ W. & FUSSENEGGER K., 1995: Ökosystem Großstadt Wien. Quantifizierung ökologischer Parameter unter besonderer Berücksichtigung der Vegetation. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung und der Stadt Wien - MA 22.
- DUVIGNEAUD P., 1975: Etudes écologiques de l'écosystème urbain bruxelloise. Contr. 6 Structure, biomasses, minéralomasses, productivité et captation du plomb dans quelques associations rudérales (*Artemisieta lia vulgaris*). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 108, 93-128.
- DUVIGNEAUD P. & DENAEYER-DE SMET S., 1977: L'écosystème urbs. L'écosystème urbain Bruxellois. In: DUVIGNEAUD P. & KESTEMONT P. (Eds.), *Productivité biologique en Belgique. Scope, Travaux de la Section belge du Programme Biologique International*, p. 581-599. Editions Duculot, Paris-Gembloux.
- DUVIGNEAUD P., DENAEYER-DE SMET S. & KESTEMONT P., 1977: Productivité primaire de forêts belges de types varies. In: DUVIGNEAUD P. & KESTEMONT P. (Eds.), *Productivité biologique en Belgique. Scope, Travaux de la Section belge du Programme Biologique International*, p. 489-500. Editions Duculot, Paris-Gembloux.
- DUVIGNEAUD P., KESTEMONT P. & AMBROES P., 1971: Productivité primaire des forêts tempérées d'essences feuilles caducifolies en Europe occidentale. In: *Productivity of forest ecosystems. Proceedings of the Brussels Symposium. UNESCO, Paris.*
- ELLENBERG H., MAYER R. & SCHAURMANN J., 1986: Ökosystemforschung. Ergebnisse des Solling-Projekts. Ulmer, Stuttgart.
- FALK J. H., 1976: Energetics of the suburban lawn ecosystem. *Ecology* 57, 141-150.
- FLINDT R., 1985: *Biologie in Zahlen*. Fischer, Stuttgart.

- FOGEL R., 1983: Root turnover and productivity of coniferous forests. *Plant and Soil* 71, 75-85.
- Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 1993: Österreichische Forstinventur 1986/90. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien.
- FRIEDL H. P., 1994: Fragen zur Gesundheit: Risikofaktoren und Gesundheitsbewußtsein — Ergebnisse des Mikrozensus 1991. *Statistische Nachrichten* 6/1994, 479-489.
- HABERL H., 1994: Methodik für die regional differenzierte Ermittlung der Nettoprimärproduktion sowie der menschlichen NPP-Aneignung in Österreich. Interdisziplinäres Institut für Forschung und Fortbildung (IFF), Wien.
- HABERL H., 1995: Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen. Diss. Univ. Wien.
- HADORN E. & WEHNER R., 1978. *Zoologie*. Georg Thieme, Stuttgart.
- IEMT, 1994: Tierbesitz in Österreich. Schriftliche Mitteilung des Institutes für interdisziplinäre Erforschung der Mensch-Tier-Beziehung (IEMT), Wien.
- JAKUBKE H.-D. & JESCHKEIT H., 1975: Brockhaus abc Biochemie. VEB F. A. Brockhaus, Leipzig.
- JARVIS P. G. & LEVERENZ J. W., 1993: Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests. In: LANGE O. L., NOBEL P. S., OSMOND C. B. & ZIEGLER H. (Eds.), *Physiological Plant Ecology IV Encyclopedia of Plant Physiology, New Series Vol. 12D*, p. 233-280. Springer, Berlin.
- JONAS A., GÖRTLER F. & SCHUSTER K., 1990: Holz und Energie. Niederösterreichische Landwirtschaftskammer, Eigenverlag, Wien.
- KEIDEL W.-D., 1985: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie. Thieme, Stuttgart, New York.
- LAUSCHER F. & ROLLER M., 1987: Vom Wachstum der Bäume (Mit Beiträgen aus den Pflanzgärten von Wien und Obersiebenbrunn). *Wetter und Leben* 39, 28-42.
- LECHNER P., RANINGER B. & SCHEIDL K., 1994: Abfallwirtschaft für Technischen Umweltschutz (TUSCH). Univ. Bodenkultur, Wien.
- LARCHER W. 1984: Ökologie der Pflanzen. Ulmer, Stuttgart.

- LARCHER W., 1994: Ökophysiologie der Pflanzen. Ulmer, Stuttgart.
- Limnologische Projektstudie, 1993: Ökologie von Augewässern: Regelsbrunn. Bericht, Univ. Wien.
- LOOMIS R. S., 1983: Productivity of agricultural systems. In: LANGE O. L., NOBEL P. S., OSMOND C. B. & ZIEGLER H. (Eds.), *Physiological Plant Ecology IV Encyclopedia of Plant Physiology, New Ser. Vol. 12 D*, p. 151-172. Springer, Berlin.
- Magistrat der Stadt Wien, 1980: Die Land- und Forstwirtschaft im Rahmen der Stadtentwicklung Wiens. Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung, Bd. 5. Magistrat der Stadt Wien.
- Magistrat der Stadt Wien, 1992: Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien 1991. Jugend und Volk, Wien.
- Magistrat der Stadt Wien — MA 48, 1992: Leistungsbericht 1991, Müllbeseitigung. Magistrat der Stadt Wien.
- Magistrat der Stadt Wien — MA 48, 1994: Leistungsbericht 1993 der Müllbeseitigung. Magistrat der Stadt Wien.
- Magistrat der Stadt Wien — MA 49, 1992: Holzeinschlagsmeldungen über das Kalenderjahr 1991. Unveröff.
- MAIER R., 1992: Pflanzen im Lebensraum Stadt. In: FRANZ H. (Red.), *Die Störung der ökologischen Ordnung in den Kulturlandschaften. Österr. Akad. d. Wiss., Veröffentlichungen der Kommission für Humanökologie 3*, 145-181.
- MAIER R., PUNZ W. DÖRFLINGER A. N., HIETZ P., BRANDLHOFER M. & FUSSENEGGER K., 1996a: Ökosystem Wien — Die Subsysteme und deren Vegetationsstruktur. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 133*, 1-26.
- MAIER R., PUNZ W., DÖRFLINGER A. N. & GRÜNWEIS F. M., 1996b: Die potentiell natürliche Vegetation Wiens und die anthropogene Aneignung der Nettoprimärproduktion. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 133*, 77-86.
- MITCHELL R., 1984: The ecological basis for comparative primary production. In: COOPER H. (Ed.), *Photosynthesis and productivity in different environments. International Biological Programme 3*, p. 145-172.
- MÜLLER O., 1977: Grundlagen der Biochemie I: Biochemische Reaktionen. Georg Thieme, Stuttgart.

- NADELHOFFER K. & RAICH J., 1992: Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. *Ecology* 73 (4), 1139-1147.
- ODUM E. P., 1983: Grundlagen der Ökologie. Georg Thieme, Stuttgart.
- ÖSTAT, 1994a: Volkszählung vom 15. Mai 1991 — Ergebnisse der Phase II — Pendler- und Wanderungsstatistik. Unveröffentlicht. Österr. Statist. Zentralamt (ÖSTAT), Wien.
- ÖSTAT, 1994b: Volkszählung 1991. Hauptergebnisse II Österreich (Tabellenteil). Beiträge zur österreichischen Statistik 1030/20. Österr. Statist. Zentralamt (ÖSTAT), Wien.
- PENKA M., VYSKOT M., KLIMO E. & VASICEK F., 1985: Floodplain forest ecosystem. Elsevier, Amsterdam.
- PENZLIN H., 1989: Lehrbuch der Tierphysiologie. Fischer, Stuttgart.
- PETTERSSON R. & HANSSON A., 1990: Net primary production of a perennial grass ley (*Festuca pratensis*) assessed with different methods and compared with a lucerne ley (*Medicago sativa*). *J. appl. Ecology* 21, 788-802.
- PIMENTEL D., 1984: Energy flow in agroecosystems. In: LOWRENCE R., STINNER B. & HOUSE G. (Eds.), *Agricultural ecosystems*, p. 121-132. Wiley, New York.
- PLENERT W. & HEINE W., 1984: Normalwerte: Untersuchungsergebnisse bei gesunden Menschen unter besonderer Berücksichtigung des Kindesalters. Karger, Basel.
- PUNZ W., 1993: Stadtökologie — Forschungsansätze und Perspektiven. Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien 132, 89-120. Wien.
- PUNZ W., MAIER R., HIETZ P. & DÖRFLINGER A. N., 1996: Der Energie- und Stoffhaushalt Wiens. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 133, 27-39.
- ROBERTS M. J., LONG S. P., TIESZEN L. L. & BEADLE C. L., 1993: Measurement of plant biomass and net primary production of herbaceous vegetation. In: HALL D. O., SCURLOCK J. M. O., BOLHÄR-NORDENKAMPF H. R., LEEGOOD R. L. & LONG S. P. (Eds.), *Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual*. Chapman & Hall, London.

- ROHRBÖCK G. J., 1994: Ernährungsbilanz 1992/93. Statistische Nachrichten 1994/2, 151-161.
- SCHARFF C., 1991: Entwicklung und Anwendung von Methoden zur stoff- und warenorientierten Analyse von Abfallströmen. Diss. Wirtschafts-univ. Wien.
- SHARP D. D., LIETH H. & WHIGHAM D., 1975: Assessment of regional productivity in North Carolina. In: LIETH H. & WHITTAKER R. H. (Eds.), Primary productivity of the biosphere, p. 131-146. Ecological Studies 14. Springer, Berlin.
- SHARPE D. M., 1975: Methods of assessing the primary production of regions. In: LIETH H. & WHITTAKER R. H. (Eds.), Primary productivity of the biosphere, p. 147-166. Ecological Studies 14. Springer, Berlin.
- SOUCI S. W., FACHMANN W & KRAUT H., 1979: Die Zusammensetzung der Lebensmittel — Nährwert-Tabellen. Wissenschaftl. Verlagsges., Stuttgart.
- SUKOPP H., 1983: Ökologische Charakteristik von Großstädten. In: Grundriß der Stadtplanung. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.
- SUKOPP H., 1984: Großstadt als Gegenstand ökologischer Forschung und als Unterrichtsgegenstand. Verband deutscher Biologen, Landesverband Bayern.
- SUKOPP H., HORBERT M. & STÜLPNAGEL A., 1988: Zur Bedeutung der Vegetation für das Stadtklima. In: Conference Report, p. 16-53. Int. Fed. of Park and Recreation, Innsbruck, Österreich.
- TEICHMANN P., 1994: ABC der Hundekrankheiten: Erkrankungen vorbeugen, erkennen, behandeln. Naturbuch Verlag, Augsburg.
- VOGT K., GRIER C., MEIER C. & EDMONDS R., 1982: Mycorrhizal role in net primary production and nutrient cycling in *Abies amabilis* ecosystems in western Washington. Ecology 63 (2), 370-380.
- WHITTAKER R. H. & LIKENS G. E., 1975: The biosphere and man. In: LIETH H. & WHITTAKER R. H. (Eds.), Primary productivity of the biosphere, p. 305-328. Ecological Studies 14. Springer, Berlin.

- WHITTAKER R. H. & MARKS P. L., 1975: Methods of assessing terrestrial productivity. In: LIETH H. & WHITTAKER R. H. (Eds.), Primary productivity of the biosphere, p. 55-118. Ecological Studies 14. Springer, Berlin.
- Wiener Stadtwerke, 1991: Neue Wege für Wiens Energie: 2. Fortschreibung des Energiekonzeptes der Stadt Wien 1991. Wiener Stadtwerke, Generaldirektion, Wien.
- Wiener Stadtwerke, 1992a: Energiebilanz Wien 1991. Wiener Stadtwerke, Generaldirektion, Energiereferat, Wien.
- Wiener Stadtwerke, 1992b: Energie in Wien 1991 — Daten zur Wiener Energieversorgung. Wiener Stadtwerke, Generaldirektion, Energiereferat, Wien.
- WITTIG R., 1991: Ökologie der Großstadtflora. UTB: Bd. 1587. Fischer, Stuttgart.
- WOLKINGER F., 1977: Die Stadt als künstliches Ökosystem. In: Stadtökologie, p. 9-41 (Tagungsbericht Ludwig-Boltzmann-Institut f. Umweltwiss. u. Naturschutz). Techn. Univ. Graz.
- YIN X., PERRY J. & DIXON R., 1989: Fine-root dynamics and biomass distribution in a *Quercus* ecosystem following harvesting. Forest Ecol. Management 27, 159-177.

Manuskript eingelangt: 1996 06 30

Anschrift der Verfasser: Mag. Dr. Alexander N. DÖRFLINGER, Hotel Post, A-6754 Stuben/Arldberg; Mag. Dr. Peter HIETZ, Institut für Botanik, Universität für Bodenkultur, Gregor Mendelstraße 33, A-1180 Wien; Univ.-Prof. Dr. Rudolf MAIER und Ass.-Prof. Mag. Dr. Wolfgang PUNZ, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Althanstraße 14, A-1091 Wien.

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Früher: Verh. des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien. seit 2014 "Acta ZooBot Austria"](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [133](#)

Autor(en)/Author(s): Dörflinger Alexander Nikolaus, Hietz Peter, Maier Rudolf, Punz Wolfgang

Artikel/Article: [Der Kohlenstoffhaushalt einer Stadt am Beispiel Wien unter besonderer Berücksichtigung der pflanzlichen Biomasse und der Nettoprimärproduktion 41-76](#)