

## Ökosystemare Struktur- und Stoffflußanalyse der Stadt Ptuj (Slowenien)

Mihaela PAVLICEV, Wolfgang PUNZ und Rudolf MAIER

Das Gebiet der Stadt Ptuj in Nordslowenien wurde mit Hilfe der Ökosystemaren Struktur- und Stoffflußanalyse (ÖSSA) untersucht. Die synoptische Methode der ÖSSA verbindet eine räumliche Analyse auf ökosystemarer Grundlage mit einer Stoffflußanalyse unter Verknüpfung der natürlichen und anthropogenen Flüsse.

Die Pro-Kopf-Daten hinsichtlich des jährlichen Ressourcenbedarfs entsprechen mit 510 kg Nahrungsmittelverbrauch, 605 kg Konsumgüterimport, 98 800 l Wasserverbrauch und 20,1 MWh anthropogenem Energieimport den Werten vergleichbarer Erstweltstädte. Mit einer hundertfachen natürlichen Einstrahlung auf das Stadtgebiet (1 010 MWh) ist das Potential zur Substitution fossiler Energieträger relativ hoch. Auch der hohe Anteil landwirtschaftlicher Flächen (46 %) bedingt eine relativ ausgeglichene Bilanz zwischen natürlichem und anthropogenem Kohlenstoffhaushalt und damit einen relativ hohen „Autarkiegrad“ auf der Biomasseebene.

Die Ergebnisse sollen den ökologischen Entwicklungszustand der Gemeinde verdeutlichen und damit eine Grundlage für eine am Nachhaltigkeitsparadigma ausgerichtete Stadtplanung bereitstellen.

PAVLICEV M., PUNZ W. & MAIER R., 2000: Ekosistemarna analiza tokov snovi in energije v mestu Ptuj (Slovenija).

Območje mesta Ptuj v severovzhodni Sloveniji je bilo raziskano po metodi Ekosistemarne analize strukture in pretokov snovi in energije (orig. okrajšava: ÖSSA). Pregledna metodika ÖSSA povezuje prostorsko analizo na ekosistemski podlagi z analizo pretokov snovi in energije naravnega in antropogenega izvora.

Podatki o porabi naravnih zalog (resursov) po prebivalcu (510 kg hranil, 605 kg potrošnih artiklov, 98 800 l vode in 20,1 MWh energije iz antropogenih virov) se v večji meri ujemajo s podatki iz primerljivih razvitih mest. Potencialna substitucija primarnih (fosilnih) energijskih virov je zaradi visokega naravnega žarčenja (1 010 MWh) relativno visoka. Tudi visok delež agrarnih površin (46 %) omogoča uravnoteženo razmerje med naravnim in antropogenim krogotokom ogljika in s tem visok potencial „samooskrbe“ na področju biomase.

Rezultati ponazarjajo stanje ekološkega razvoja območja in nudijo podlago za morebitno urbanistično planiranje v smislu ekološko uravnoteženega razvoja mesta Ptuj.

PAVLICEV M., PUNZ W. & MAIER R., 2000: Ecosystem-based analysis of material and energy fluxes in Ptuj (Slovenia).

The area of Ptuj, a city in Northern Slovenia, was investigated by means of the ÖSSA, a synoptical method combining ecosystem-based structural analysis with calculations of natural and anthropogenic fluxes.

Per-capita-data of annual resource consumption are 510 kg food, 605 kg goods, 98 800 l water, and 20.1 MWh energy, showing the same order of magnitude as other towns in the First World. Solar irradiation (1 010 MWh) exceeds the anthropogenic energy input by a factor of 100, providing a high potential for substitution of fossil energy. Due to the high percentage of agricultural area (46 %), natural and anthropogenic carbon are nearly balanced, and a high degree of self-sufficiency in the overall "urban ecosystem" would be possible.

The results of the ÖSSA are designed to demonstrate the ecological "status" on a communal level, thus providing a new tool for sustainability-guided urban planning.

Keywords: urban ecology, ecosystem analysis, Ptuj (Slovenia), ÖSSA.

## Einleitung

Die Tatsache der Verknappung der globalen Ressourcen und die daraus resultierende Forderung nach deren nachhaltiger Nutzung werden heute weitgehend außer Streit gestellt. Eine solche Entwicklung zur Nachhaltigkeit erscheint als notwendige Voraussetzung für die weltweite urbane Gesellschaftsform, auf welche die Welt mit ihren absehbaren acht bis zehn Milliarden Menschen zusteuert. Nachdem beim Übergang vom Jäger- und Sammler-Dasein zur Agrargesellschaft und nochmals zur heutigen rural-urbanen Gesellschaftsform der individuelle Ressourcenverbrauch jeweils um das Drei- bis Fünffache gesteigert wurde, gilt es innerhalb der nächsten Generationen zumindest eine Halbierung zu erreichen.

Städte sind Brennpunkte des Ressourcenverbrauchs, ihr dauerhaftes Funktionieren kann nur durch beständigen anthropogenen Güter- und Energieinput aufrecht erhalten werden (SUKOPP 1984). Obwohl „die Ressourcen global beschränkt sind, muß und kann regional nicht in jedem Fall eine Selbstversorgung angestrebt werden. Allerdings muß für die wesentlichen Ressourcen Wasser, Biomasse, Energie und Baumaterial die Situation analysiert und der jeweilige Autarkiegrad bestimmt werden,“ meint BACCINI (1999) in seiner Eröffnungsansprache zur 179. Jahrestagung der Schweizerischen Akademie für Naturwissenschaften.

Warum aber eine Analyse einzelner Gemeinden? Weil hier, auf der kleinsten politischen Ebene, die unmittelbare Faßbarkeit für die Betroffenen am größten ist. Weil es umgekehrt, beispielsweise, einen ganz konkreten Druck auf die Fläche gibt. Letztlich weil es, in den Worten des Weltforums der Bürgermeister in Bonn 1999 „immer die Kommunen sein werden, die den großen Teil der Konsequenzen zu tragen haben“ (GLIESE 1999).

Zum Zweck dieser Analyse können Städte bzw. menschliche Siedlungsräume als Ökosystem aufgefaßt werden. Die Untersuchungen von SUKOPP, vor allem aber die Studien von DUVIGNEAUD (1975: Brüssel), NEWCOMBE et al. (1978: Hongkong) und MAIER et al. (1996: Wien) zeigen die Gemeinsamkeiten, aber auch die Unterschiede im Vergleich zu natürlicheren Ökosystemtypen: Die Nahrungsketten sind kurz, der Anteil der Primärproduzenten ist gering, und Energie, Wasser und Material werden in großem Ausmaß ins System importiert. Die anthropogene Komponente dieses urbanen Stoffwechsels ist in jüngerer Zeit von BACCINI et al. (1993) und BRUNNER et al. (1996) ausführlich untersucht worden. In verschiedenen Studien wurden exemplarische anthropogene Stoffflüsse im und durch das System Stadt dargestellt, wobei die Bedeutung des wachsenden Lagers besonders hervorgehoben wird.

Im Rahmen der Kulturlandschaftsforschung wurde von der Projektgruppe Stadtökologie (MAIER und andere) eine synoptische Methode entwickelt, welche eine

räumliche Analyse auf ökosystemarer Grundlage mit einer Stoffflußanalyse unter Verknüpfung der natürlichen und anthropogenen Flüsse kombiniert. Da ökologische Ressourcen als knappes „Kapital“ anzusehen sind (OTTO-ZIMMERMANN, zit. in ADAM 1988), könnte das Ergebnis die Basis einer ökologischen Beurteilung sein und die bisherigen Instrumente der örtlichen Raumplanung ergänzen.

## Untersuchungsgebiet

### Geographische, geologische und klimatische Gegebenheiten

Die Stadt Ptuj im Nordosten Sloweniens war bereits in römischer Zeit ein wichtiger Handelsplatz („Petovio“) und gehörte als „Pettau“ bis 1918 zur Untersteiermark (Abb. 1). Ptuj liegt im Pettaufer Feld auf 220 m Meereshöhe im kontinentalen Klima mit westlich-pannonischem Einfluß; seit der jüngsten Gemeindereform 1995 (WASTL-WALTER 1996) umfaßt es 2 500 Hektar und hat rund 22 000 Einwohner. Die Drav (Drau), die bei Maribor (Marburg) aus den Alpen kommt, hat mehrere



Abb. 1: Ansicht von Ptuj. – View of Ptuj.

Schotterterrassen angelegt, die heute den Untergrund der Drav- und Ptuj-Ebenen darstellen. In der Stadt Ptuj nahe der Westgrenze vereinigen sich die heutigen zwei Ströme der Drau („Kanal“ und „Altarm“). An der östlichen Stadtgrenze beginnt der Ptuj-See, ein Stausee, der mit einem Umfang von 14 km die größte Wasseroberfläche Sloweniens darstellt.

### **Pedologie und primäre Vegetation**

Der Drau entlang herrschen junge und wenig entwickelte Böden auf rezenten Flußsedimenten vor. Auf der Hauptterrasse Ptuj sind vor allem saure Braunböden und Ranker vertreten (STUMBERGER 1993). Von der primären Vegetation ist nur der acidophile Eichen-Buchen-Edelkastanien-Wald des Hügellandes noch teilweise vorhanden, der Stieleichen-Hainbuchen-Wald (ursprünglich mit 65 % dominierend) ist im Laufe der Geschichte in dem Gebiet fast völlig verschwunden (Zveza Geografskih Drustev Slovenije 1996, SMOLE 1988) und durch mäßige landwirtschaftliche Nutzung auf der dünnen Bodenschicht der Schotterterrassen ersetzt worden.

### **Methodik**

Die Methodik der Stoffflußanalyse hat sich in den letzten Jahren etabliert (BACCINI et al. 1993, BRUNNER et al. 1996, GÖTZ & ZEHTNER 1996) und wird unter verschiedenen Gesichtspunkten durchgeführt (Energiewirtschaft, Landwirtschaft etc.), wobei die natürliche Komponente des Ökosystems im wesentlichen unberücksichtigt blieb. Diese Verknüpfung der natürlichen und anthropogenen Stoffflüsse und Lager wird dagegen von der „Ökosystemaren Struktur- und Stoffflußanalyse“ (ÖSSA) nach DÖRFLINGER et al. (1995a, 1996), PUNZ et al. (1996) und MAIER et al. (1997) betont. Grundlage der eigentlichen Stoffflußanalyse bildet dabei die räumliche Charakterisierung des Untersuchungsgebietes durch Unterteilung in Subsysteme sowie deren großemäßige Erfassung (d. i. Strukturanalyse).

### **Strukturanalyse**

Kataster und Flächenwidmungsplan zusammen mit einer Bewertung vor Ort waren die Grundlage für eine quantitative Strukturhebung, die eine Flächenaufteilung mit kategorial zusammengefaßter Nutzung zum Ziel hatte. Die so ausgeschiedenen Flächen werden als Subsysteme (MAIER et al. 1996) bezeichnet.

### **Energiebilanz**

Die Gesamtenergiebilanz wurde in die Teilbilanzen Strahlungsbilanz, Energie der Biomasse, Pflanzenfixierte Energie pro Jahr, Evapotranspiration, Konvektion sowie anthropogene Zufuhr/Verbrauch von Energie aufgetrennt (Details: s. PAVLICEV 1998).

**Strahlungsbilanz:** Die Gesamt-Strahlungsbilanz ergibt sich aus der Summe von kurzwelliger (Globalstrahlung minus Reflexion) und langwelliger (Ausstrahlung minus atmosphärischer Gegenstrahlung) Strahlungsbilanz. Berechnungsgrundlagen: bei GEIGER (1961), LIST (1963), DIRMHIRN (1964), LIANG (1982). Die von DÖRFLINGER (1995a) herausgearbeiteten durchschnittlichen Bilanzwerte wurden übernommen und auf die jeweiligen Subsystemflächen hochgerechnet.

**Energie der Biomasse:** Für diese wurde ein durchschnittlicher Energiegehalt von 5,23 MWh/t (nach LARCHER 1984) angenommen.

**Pflanzenfixierte Energie pro Jahr:** Diese entspricht der Gesamt-Nettoprimärproduktion, welche nach einzelnen Subsystemen gerechnet und aufsummiert wurde (s. Kohlenstoffbilanz der Vegetation).

**Evapotranspiration:** Berechnung nach LARCHER (1994) aus aktueller Evapotranspiration und Verdunstungsenergie.

**Konvektion:** Da die Gesamtenergiebilanz gleich Null ist, ergibt sich die Konvektion aus den anderen Energieumsätzen.

**Anthropogene Zufuhr/anthropogener Verbrauch von Energie:** Berücksichtigt wurden Gesamt-Nahrungsmittelverbrauch (Statistisches Jahrbuch Sloweniens 1996; spezifische Energiewerte, Wasser-, Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißgehalt aus FLINDT 1986); Anteil des Abfalls in den Nahrungsmitteln (FLINDT 1986, DASSLER & HEITMANN 1991); durchschnittlicher Energieverbrauch der Haustiere (ECKERT 1993, PENZLIN 1989); Energieumsatz der Atmung (KOLB 1980, LESKOSEK 1993, FRIEDL 1994, CESTNIK 1995); Energiegehalt der Fäkalien (= Differenz zwischen Energiegehalt der verzehrten und der absorbierten Nahrungsmittel); Verbrauch zusätzlicher Energieträger durch Heizung (Gaswerke Ptuj, Herr POLANEC, pers. Mitt.) und Stromverbrauch (Stromwerke Ptuj, schriftl. Mitt.). Ausführliche tabellarische Darstellung in PAVLICEV (1998).

### Wasserbilanz

Die Wasserbilanz des „Ökosystems Stadt“ setzt sich aus natürlicher und anthropogener Bilanz zusammen.

Die natürliche Bilanz wird auf folgenden Term reduziert:  $B_{nat} = N_s + A_o + V_n + Et_o$  ( $N_s$  – Niederschlag,  $A_o$  – oberirdische Abfluß,  $V_n$  – Versickerung,  $Et_o$  – Evapotranspiration).

Grundwasser zu quantifizieren war im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Deswegen wird es als außerhalb der gewählten Systemgrenzen gelegen aufgefaßt.

Die Formel für die anthropogene Wasserbilanz wurde folgendermaßen vereinfacht:  $B_{anth} = Z_a + E_{gw} + A_a + Et_a + V_a$  ( $Z_a$  – Zufuhr durch Wasserleitungen,  $E_{gw}$  – industriell bedingten Grundwasserentnahme,  $A_a$  – Abfuhr durch Wasserleitungen und Kanalisation,  $Et_a$  – anthropogen bedingte Evaporation,  $V_a$  – anthropogene Versickerung).

Die Zufuhr durch Wasserleitungen ( $Z_a$ ) errechnet sich aus der in Ptuj verbrauchten Trinkwassermenge, hinzu kommt jener Anteil (rund 30 %), der aus den Leitungen verlorenght und im Boden versickert ( $V_a$ ). Die anthropogen bedingte Evaporation ( $E_a$ ) resultiert vor allem aus der Verdunstung von Bewässerungswasser. Die Berechnung der landwirtschaftlichen Flächen wurde vernachlässigt, für Kleingärten und den übrigen anthropogenen Wasserverbrauch wurden die statistischen Daten für den Wasserverbrauch der Großstadt Wien (DÖRFLINGER et al. 1995) verwendet. Die Zahlen der industriell bedingten Grundwasserentnahme ( $E_{gw}$ ) stammen aus unpublizierten Angaben (Therme Ptuj, Geflügelfarm Perutnina u. a.; mündl. Mitt.).

### Kohlenstoffbilanz

**Boden:** Bei den Berechnungen der organischen Substanz (tote Biomasse) sind nur die oberen 50 cm des Bodens berücksichtigt, da die für diese Studie relevanten Elemente Kohlenstoff und Stickstoff unterhalb von 50 cm nur noch in Spuren vorkommen (PIETSCH 1991, TROEH & THOMPSON 1993). Für die Berechnungen der Streuauflage wurden für jedes Subsystem aktuelle Daten verwendet (ELLENBERG 1986, KÖRNER et al. 1993, PUTZGRUBER 1993, WOODWELL 1984; tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998). Für die Ackerflächen liegt die Annahme zugrunde, daß das Stroh zur Gänze zuerst den Äckern entzogen wird und nachher mit Viehmist als Dünger verwendet wird. Die Stoppeln werden zur Gänze in den Mineralboden eingeckert. Diese „Streu“ ist somit im Humusgehalt impliziert. Die tote organische Substanz wird als eine konstante Menge angesehen. Die Gehalte an organischer Substanz für landwirtschaftlich genutzte Böden sind der Literatur entnommen (LESKOSEK 1993); für die Böden im Subsystem Siedlung und Industrie wurden Daten aus SUKKOP & WITTIG (1993) sowie DÖRFLINGER (1995b) verwendet. Zur Berechnung der Biomasse von Mikroorganismen kamen Daten von POST & BEEBY (1993), SMITH et al. (1993) und OHTONEN (1994) zur Anwendung; diese beziehen sich auf die obersten 10 cm des Bodens und wurden deshalb (unter Berücksichtigung der Korrelation zwischen dem Anteil an organischer Substanz und dem Anteil an Mikroorganismen) an die obersten 50 cm angepaßt (SCHEFFER et al. 1989). Für die tierische Biomasse (vorwiegend Bodenfauna, deren Großteil die Würmer ausmachen; DUVIGNEAUD & DENAYER-DE SMET 1977) wurden der Vegetationsform entsprechende Werte ermittelt (PETERSEN & LUXTON 1982, ELLENBERG 1986, SCHAEFER 1990, GOODAL 1992; tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998). Das Kohlenstofflager des Mineralbodens sowie der Kohlenstoff-Gaswechsel mit der Atmosphäre wurden nicht quantifiziert.

**Vegetation:** Die Berechnung der Biomasse und der Nettoprimärproduktion erfolgte entsprechend dem Deckungsgrad und den Deckungsformen der einzelnen Subsysteme; Daten dazu stützen sich auf ähnliche Studien von Wien und Bisamberg (MAIER et al. 1996, 1997). Die Siedlungsfläche wurde je nach geschätztem Versiegelungsgrad in zwei Kategorien unterteilt: 1. mehr als 50 % versiegelte Fläche pro Parzelle, 2. weniger als 50 % versiegelte Fläche pro Parzelle. Bei den Kulturpflanzen wurden Daten über mittlere jährliche Erträge herangezogen (nach GIS1 &

ORTLI 1981, ELLENBERG 1986, KRUG 1986, PUTZGRUBER 1993, KUS 1994, DÖRFLINGER et al. 1995, SKLEDAR & LEBAN 1996, Statistisches Jahrbuch Sloweniens 1996, Biotehniska Fakulteta 1996; Amt für Förderung der Landwirtschaft, Herr BRODNJAK, pers. Mitt.; tabellarische Berechnung in PAVLICEV 1998). Für die jährlich geernteten Ackerflächen wird die Biomasse (ober- und unterirdische Anteile) als Nettoprimärproduktion angenommen (KÖRNER et al. 1993), berechnet aus mittleren Erträgen und Erntefaktoren. Als „Stroh“ wird jener Teil der entnommenen Biomasse bezeichnet, der nicht weiter für menschliche Nutzung interessant ist; die Menge wurde mittels kulturspezifischer Koeffizienten (Gruppe Wasser, 1993), die sich auf das Verhältnis von Körner zu Stroh beziehen, berechnet. Das C-Lager in der Biomasse wird (nach JÖRGENSEN et al. 1991) mit 45 % des Biomasse-Trockengewichts im jeweiligen Subsystem angenommen (tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998). Aus der Nettoprimärproduktion (= Biomasse) ergibt sich so die CO<sub>2</sub>-Fixierung. Die Ernte ist definiert als der für den Menschen nutzbare Anteil an der von einer Fläche entnommenen Biomasse; die Angaben über Erträge stammen aus mittleren slowenischen Erträgen pro ha, multipliziert mit der Anbaufläche (Statistisches Jahrbuch Sloweniens 1996; tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998). Für die Bilanzberechnung des Prozesses Vegetation wurde die Ernte als Export betrachtet.

**Viehwirtschaft:** Aus dem Prozeß Vegetation stammt der Input für den Prozeß Viehwirtschaft; dessen Lager ergibt sich aus den Literaturangaben (FLINDT 1986) über Kohlenstoffgehalte (Säugetiere 48 %, andere Tiere [Hühner] 45 % des Trockengewichtes). Das Lager vergrößert sich durch die Produktion von Milch; hochgerechnet aus der mittleren slowenischen Milchproduktion pro Kuh im privaten Sektor (Statistisches Jahrbuch Sloweniens 1996) auf den Viehbestand. Die Eierproduktion wurde nach den Angaben der Geflügelfarm kalkuliert (Geflügelfarm Ptuj, Frau ERJAVEC, pers. Mitt.) und analog den Umrechnungsfaktoren bei der Nahrung gerechnet und auf die Produktion bezogen. Die Entnahme an Fleisch und Milch aus der Viehwirtschaft, also der Export, wurde nach den statistischen Daten für Slowenien abgeschätzt (Statistisches Jahrbuch Sloweniens 1996).

**Anthroposphäre:** Der Input in den Prozeß Anthroposphäre wurde in die Teilprozesse Menschen, Baumaterialien, Konsumgüter und Abfall gegliedert, woran sich auch die Berechnung des Input in den Prozeß Anthroposphäre (Energieträger, Nahrung, Konsumgüter, Abfall) orientiert.

Unter Vernachlässigung der Holzheizung (geringer Anteil!) wurde angenommen, daß alle Energieträger, die in Ptuj verbraucht werden, importiert werden. Der C-Import wurde mittels spezifischer Kohlenstoffgehalte einzelner Energieträger (Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz auf kommunaler Ebene 1996), multipliziert mit den verbrannten Mengen, errechnet (tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998); unter Annahme einer vollständigen Verbrennung ergaben sich hieraus gleichzeitig die C-Emissionen. Die Daten über den gesamten Gasverbrauch, die Anzahl der an die Fernwärme angeschlossenen Haushalte und den Gasaufwand

der größeren Verbraucher stammen von den Gaswerken Ptuj (Herr POLANEC, pers. Mitt.). Zusätzlich wurden die Haushalte mit eigenem Gasbehälter und ihr Verbrauch berücksichtigt (Gaswerke Maribor; Herr GRAPULIN, pers. Mitt.). Der Treibstoffverbrauch wurde unter Vernachlässigung des Transitverkehrs über die Anzahl der Kraftfahrzeuge in Ptuj und den mittleren Verbrauch (Statistisches Jahrbuch Sloweniens 1996) berechnet und daraus die Verkehrsemissionen kalkuliert (DÖRFLINGER et al. 1995, Bundesministerium für Umwelt 1996; tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998).

Der Import von Konsumgütern wurde aus österreichischen und schweizerischen statistischen Daten in Relation zum Abfallaufkommen in Ptuj ( $\frac{1}{3}$  geringer als in Österreich) gerechnet (MAIER et al. 1997 nach BESCHORNER 1996 und BACCINI et al. 1993, BRUNNER et al. 1995). Für die C-Aufnahme über die Ernährung wurden die Kohlenstoffgehalte nach Nahrungsmitteln aufgeschlüsselt und mit den verbrauchten Mengen multipliziert (tierische Nahrung 65 %, pflanzliche Nahrung 45 % C des Trockengewichtes; FLINDT, 1986, tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998).

Zum Lager der Anthroposphäre zählen:

- Die **Biomasse** der Menschen (Lager): Diese wurde anhand der Altersstruktur (Magistratsabteilung für Landwirtschaft und Wirtschaft in Ptuj; pers. Mitt.) und des mittleren Gewichts für die jeweiligen Altersklassen berechnet (FLINDT, 1986), wobei der Kohlenstoffgehalt mit 62 % des Trockengewichts (JÖRGENSEN et al. 1991) angenommen wird.
- Das Kohlenstofflager in den **Baumaterialien** wurde auf Basis der Gesamtwohnfläche mittels eines konstanten C-Wertes in den Baumaterialien gerechnet (BRAMRYD 1980, BRUNNER et al. 1996), differenziert nach Wohnungen, Familienhäusern, Industrieanlagen, öffentlichen Gebäuden, Garagen, Parkplätzen und Verkehrsflächen (tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998).

Der Teilprozeß Abfall ist von einem geringfügigen Input, einem Wachsen des Lagers, vor allem aber vom Output geprägt. Die einzelnen Abfallfraktionen (Basis: Angaben der städtischen Deponie und Kläranlage Ptuj) wurden chemischen Hauptkomponenten zugeteilt und die Kohlenstoffgehalte auf Grund der Mittelwerte einer Bandbreite von Untersuchungen (MAIER et al. 1997 nach BESCHORNER 1996 und BACCINI et al. 1993) kalkuliert; der Kohlenstoff im Abwasser wurde auf Basis der Tatsache errechnet, daß verzehrter Kohlenstoff entweder absorbiert oder als Fäkalien ausgeschieden wird (tabellarische Berechnung bei PAVLICEV 1998). Dabei wurde für den Kohlenstoff im Wirtschaftsdünger die Annahme gemacht, daß sämtliche tierische Fäkalien (ausgenommen jene aus der Geflügelfarm, die im Sinne der Terminologie der Stoffflußanalyse exportiert werden) und Stroh/Grünschnitt als organischer Dünger wieder auf die Felder gebracht werden und somit nicht in die C-Bilanz des Abwassers eingehen.

## Ergebnisse

### Strukturanalyse

Als Grundlage für die Stoffflußanalyse der Stadt Ptuj wurden nach den Kriterien der ÖSSA die in Tabelle 1 und Abbildung 2 ausgewiesenen Subsysteme bzw. Subsystemklassen ausgewiesen.

Den größten Anteil nehmen die land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen mit immerhin 61 % ein. Davon entfällt ein Viertel auf die Forstwirtschaft (15 %) und drei Viertel auf die Landwirtschaft (46 %), bei der wiederum die Äcker mit 18 % und die Wiesen und Weiden mit zusammen 26 % der Gesamtfläche besonders hervortreten, allerdings als wenig strukturiert bezeichnet werden müssen. Demgegenüber ist ein Viertel der Gemeindefläche der Kategorie der „Urban-Industriellen Flächen“ zuzuordnen, wobei sich die Siedlungen mit weniger als 50 % versiegelter Fläche vor allem entlang der Ausfallstraßen ausbreiten; die stark versiegelten Flächen (rund 6 %) liegen dagegen hauptsächlich im Stadtzentrum. Hier ist auch am wenigsten zusammenhängender Grünraum zu finden; die Parkfläche ist mit 4 % relativ gering bemessen. Die aquatischen Ökosysteme schlagen mit 6 % zu Buche; für die Kategorie „Natürliche und naturnahe Ökosysteme“ steht in Ptuj kaum Platz zur Verfügung.

### Energiebilanz (Abb. 3)

Mit der kurzwelligen (Sonnen-)Strahlung gelangen 29 094 GWh Energie auf die Fläche von Ptuj, davon werden 6 877 GWh reflektiert. Von der absorbierten Energie werden 11 466 GWh als langwellige Strahlung wieder abgegeben, woraus sich zunächst eine jährliche positive **Strahlungsbilanz** für Ptuj von 10 751 GWh ergibt.

Dazu kommt die **Zufuhr an importierter bzw. aus dem Lager freigesetzter Energie**, die sich aus folgenden Komponenten zusammensetzt:

Nahrungsmittel	22 183 MWh
Atmung	157 601 MWh
Fossile Brennstoffe (Heizung)	101 017 MWh
Fossile Brennstoffe (Verkehr)	79 975 MWh
Strom	81 207 MWh
Fäkalien	719 MWh

Der Gesamtwert der anthropogen importierten Energie liegt also bei 442,7 GWh.

Der **Energiegehalt des pflanzlichen Biomasse-„Lagers“** beträgt 1 073 GWh und setzt sich aus den Anteilen der oberirdischen und unterirdischen Biomasse von 841 GWh (entsprechend 160 818 t Trockensubstanz [TS]) und 232 GWh (44 294 t) zusammen. Die jährliche **Nettoprimärproduktion** beträgt 29 204 t TS, sie erhöht damit das energetische Potential der Biomasse (Lager) um 153 GWh.

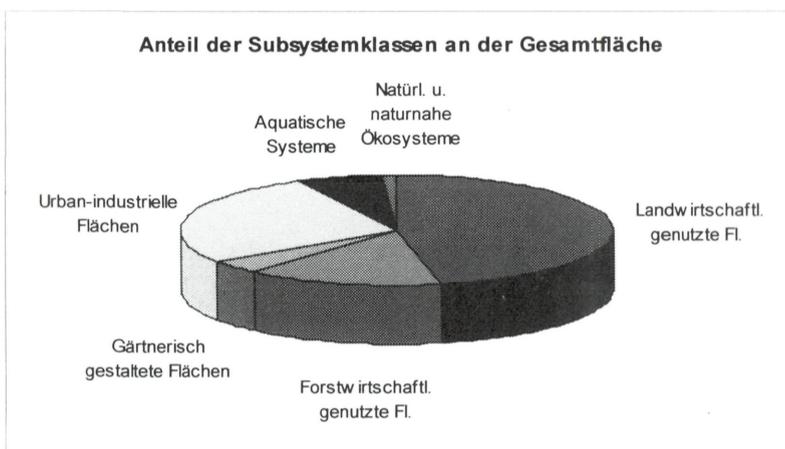


Abb. 2: Ptuj: Anteil der Subsystemklassen an der Gesamtfläche. – Ptuj: area of subsystem classes as percentage of total area (see Tab. 1).

Tab. 1: Ptuj: Subsysteme und -klassen. – Ptuj. Subsystems: Äcker – arable land, Weingärten – vineyards, Gemüsegärten – vegetable gardens, Obstgärten – fruitgrowing, Wiesen – meadows, Weiden – pastures, Waldungen – forest, Parkanlagen – park, Bauparzellen – built-up area, unbenutzter Boden – bare. Subsystem classes: Landwirtschaftlich-forstwirtschaftlich genutzte Flächen – agricultural and forest-related, Gärtnerisch gestaltete Flächen – gardening, Urban-industrielle Flächen – urban-industrial, Aquatische Ökosysteme – aquatic, Natürliche und naturnahe Ökosysteme – natural ecosystems.

<b>Subsystemklasse</b>		
Subsystem	<b>Fläche in m<sup>2</sup></b>	<b>Fläche in ha</b>
<b>Land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen</b>	<b>15 366 729</b>	<b>1 536,67</b>
<b>Landwirtschaftlich genutzte Flächen</b>	<b>11 635 071</b>	<b>1 163,5</b>
Acker	4 408 848	440,88
Weingärten	19 220	1,92
Gemüsegärten	42 978	4,3
Obstgärten	738 394	73,84
Wiesen	5 446 699	544,67
Weiden	978 932	97,9
<b>Forstwirtschaftlich genutzte Flächen</b>	<b>3 731 658</b>	<b>373,16</b>
Waldungen	3 731 658	373,16
<b>Gärtnerisch gestaltete Flächen</b>	<b>1 013 100</b>	<b>101,31</b>
Park	1 013 100	101,31
<b>Urban-industrielle Flächen</b>	<b>6 764 963</b>	<b>676,5</b>
Bauparzellen mit bis 50 % versiegelte Fläche	5 263 880	526,38
Bauparzellen mit > 50 % versiegelte Fläche	1 501 082	150,1
<b>Aquatische Ökosysteme</b>	<b>1 575 696</b>	<b>157,5</b>
<b>Natürliche und naturnahe Ökosysteme</b>	<b>282 644</b>	<b>28,26</b>
Unbenutzter Boden	282 646	28,26
<b>Gesamtfläche</b>	<b>25 003 132</b>	<b>2 500,31</b>

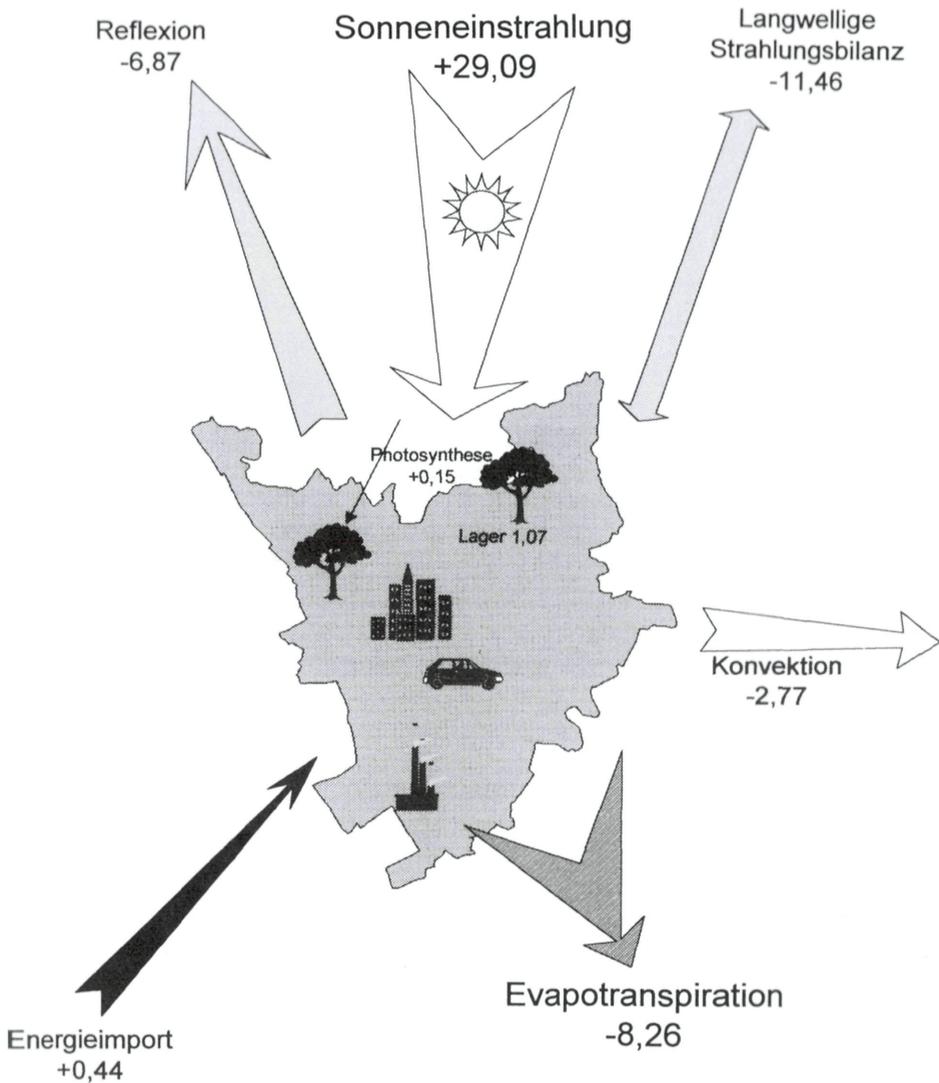


Abb. 3: Ptuj: Energiehaushalt 1996 in TWh. – Ptuj: 1996 energy balance in TWh.

Die Energieabgabe durch **Evapotranspiration** wurde mit 8 266 GWh berechnet; um die Energiebilanz auszugleichen, muß daher die **Konvektion** 2 776 GWh betragen.

### Wasserbilanz

An Niederschlägen gehen als Input auf das Gebiet von Ptuj 23 260 415 m<sup>3</sup> nieder, entsprechend einem Gebietsniederschlag von 930,3 mm (Slowenische Anstalt für

Hydrometeorologie Ljubljana; pers. Mitt.). Die anthropogene Zufuhr durch Wasserleitungen beträgt  $1\,115\,265\text{ m}^3$ , die Grundwasserentnahme  $1\,059\,459\text{ m}^3$ . Dem stehen die natürliche Versickerung mit  $7\,146\,535\text{ m}^3$ , der oberirdische Abfluß von den versiegelten Flächen der Stadt mit  $4\,115\,406\text{ m}^3$  und die natürliche Evapotranspiration  $11\,998\,474\text{ m}^3$  gegenüber. Der oberirdische Abfluß ( $A_o$ ) auf nicht versiegelten Flächen wurde vernachlässigt und derjenige für die versiegelten Flächen aus der Differenz zwischen Niederschlag und Evapotranspiration ermittelt. Umgekehrt wurde die Versickerung ( $V_n$ ) für die nicht versiegelten Flächen aus der Differenz zwischen Niederschlag und Evapotranspiration ermittelt, auf den versiegelten Flächen dagegen vernachlässigt. Die anthropogene Versickerung beträgt  $368\,037\text{ m}^3$ , die anthropogene Verdunstung  $89\,221\text{ m}^3$ . Über die Kanalisation werden folglich  $2\,085\,502\text{ m}^3$  abgeführt. Für die Evapotranspiration ( $Et_s$ ) wurde ein einheitlicher Wert für alle Subsysteme angenommen (HAUDE in: Gruppe Wasser, 1993); der Wert stimmt gut mit den Werten nach LIANG (1982) überein und entspricht in etwa auch der Angabe von LAH (1995). Dieser Wert wurde für die versiegelten Flächen je nach dem Versiegelungsgrad um 30 % bzw. um 60 % vermindert (MAIER et al. 1996, SUKOPP & WITTIG 1993); als Wert für die Evaporation von Wasserflächen wurde das langjährige Mittel der Evaporation (Slowenische Anstalt für Hydrometeorologie Ljubljana; schriftl. Mitt.) verwendet. Oberirdische Zu- und Abfluß der Drau und der Bäche Studencnica, Grajena und Rogoznica wurde nicht in die Bilanz einbezogen; es sei jedoch erwähnt, daß der „Oberirdische Zufluß“ der Drau und der drei kleineren Bäche aus den mittleren jährlichen Durchflüssen (Wasseranstalt „Drau“; VERONEK, pers. Mitt.) mit  $11\,306\,000\,000\text{ m}^3$  berechnet werden konnte.

### Kohlenstoffbilanz

Die vereinfachte Kohlenstoffbilanz ist in Abbildung 4 dargestellt. Im einzelnen sind folgende Komponenten angeführt:

**Boden:** Der jährliche Input durch den Pflanzenabfall liegt bei  $6\,333,8\text{ t C}$  ( $14\,075\text{ t}$  Trockensubstanz). Die Trockenmasse der Mikroorganismen wurde mit  $5\,658,8\text{ t}$  berechnet, woraus sich ein Kohlenstoffgehalt von  $2\,544\text{ t}$  ergibt. Der Trockenmasse der Tiere von  $930\text{ t}$  entspricht ein Gehalt von  $418\text{ t C}$ . Die Trockenmasse der Streu beträgt kalkuliert  $14\,075\text{ t}$ , des Humus  $211\,887\text{ t}$ ; der gesamte Kohlenstoffgehalt liegt daher bei  $101\,683\text{ t C}$ . Das Lager des Mineralbodens sowie der Output an  $\text{CO}_2$  wurden nicht ermittelt.

**Vegetation:** Die jährliche  $\text{CO}_2$ -Fixierung von  $13\,142\text{ t C}$  ergibt eine jährliche Nettoprimärproduktion von  $29\,204\text{ t}$  und erhöht damit das Lager der pflanzlichen Biomasse, das sich aus dem oberirdischen Anteil ( $160\,816\text{ t}$ ) und dem unterirdischen Anteil ( $44\,294\text{ t}$ ) zusammensetzt. Das ergibt ein Kohlenstofflager an pflanzlicher Biomasse von  $92\,300\text{ t C}$ . Von diesem Lager gehen  $2\,056\text{ t}$  (entsprechend  $925\text{ t C}$ ) als landwirtschaftliche Ernte in die „Anthroposphäre“,  $2\,326\text{ t}$  Stroh (entsprechend  $1\,047\text{ t C}$ ) in das System „Viehwirtschaft“ und  $14\,075\text{ t TS}$  Pflanzenabfall (entsprechend  $6\,334\text{ t C}$ ) in das System „Boden“.

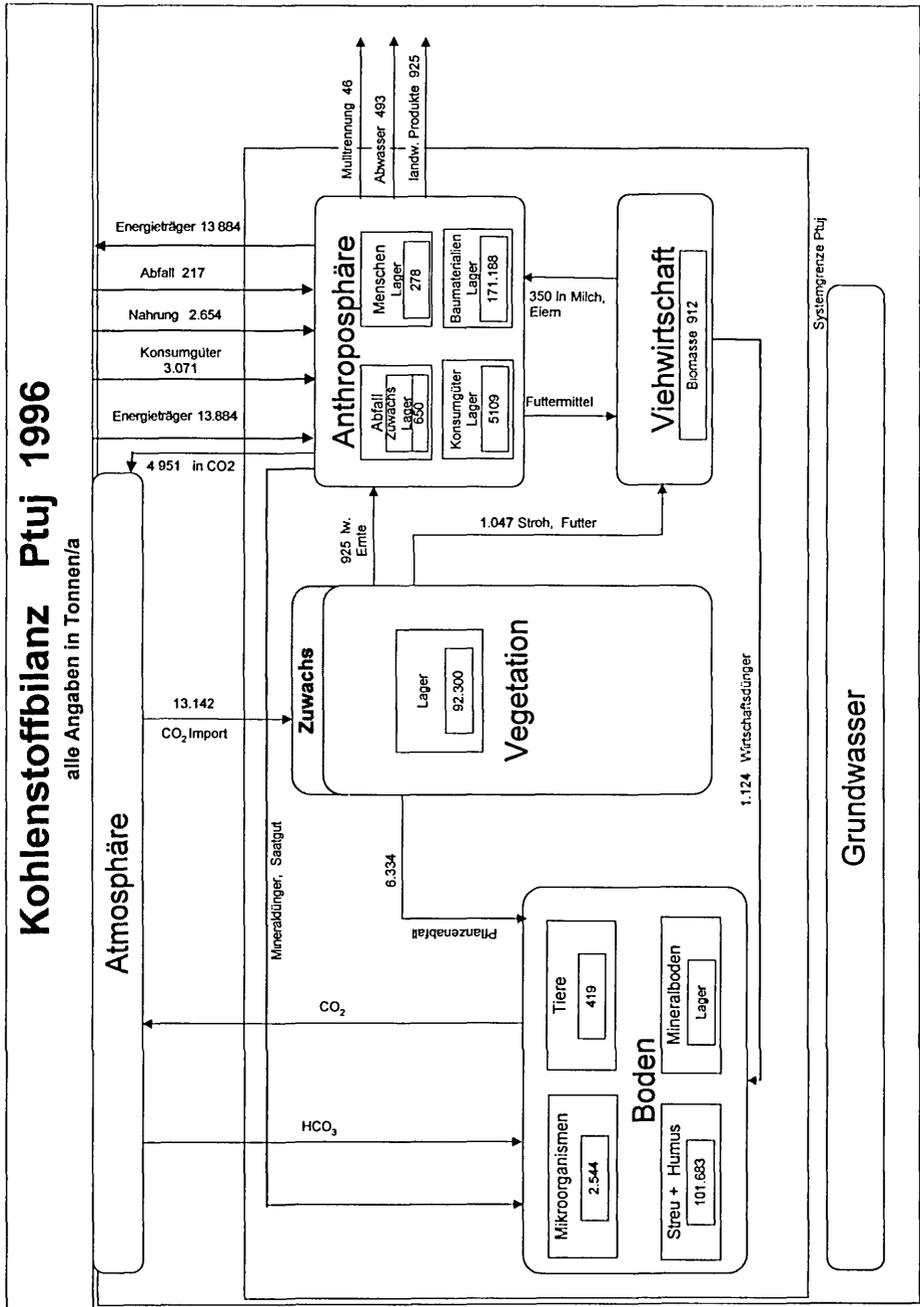


Abb. 4: Ptuj: Kohlenstoffhaushalt. – Ptuj: carbon balance.

**Viehwirtschaft:** Zusätzlich zu dem bereits beschriebenen Input an Pflanzenabfall ist der Futtermittel-Input zu nennen, welcher allerdings nicht kalkuliert wurde. Das Lager der tierischen Biomasse in Ptuj wird mit 5 047 t beziffert, das entspricht etwa 912 t C. Als Output gehen jährlich 145 623 t Wirtschaftsdünger (das entspricht 1 124 t C) in das System „Boden“; der Ertrag von Milch und Eiern ist mit 538 t (350 t C) jährlich angegeben und geht in die Anthroposphäre.

**Anthroposphäre:** In das System werden 11 229 t Nahrung (2 654 t C), 13 314 t Konsumgüter (3 071 t C) und 13 884 t Kohlenstoff in Form verschiedener Energieträger importiert.

Der Anteil des „anthropogenen“ Kohlenstofflagers liegt in der Größenordnung des „natürlichen“ und setzt sich aus der menschlichen Biomasse der 22 003 Einwohner (278 t C entsprechend 447 t Trockensubstanz) sowie der Gesamtmasse der Baumaterialien (171 188 t C entsprechend 3 804 181 t); das Gebrauchsgüter„lager“ von 2 038 t C entspricht 7 438 t.

Das Abfallager (in unserer Studie mit der Deponie gleichgesetzt) wächst jährlich um 650 t C (entsprechend 40 471 m<sup>3</sup>). In diese Zahl gehen die jährlich importierten 217 t C (13 490 m<sup>3</sup>) Abfall mit ein; 433 t C (entsprechend 26 981 m<sup>3</sup>) sind also „hausgemacht“. Von dem tatsächlich importierten Abfall werden 46 t C (6 132 m<sup>3</sup>) getrennt sortiert und verlassen wieder das System Ptuj. Zusätzlich produzieren die nicht an die Hausmüllabfuhr angeschlossenen Haushalte noch 88 t C (5 487 m<sup>3</sup>) Hausmüll.

Die unter Import genannten Energieträger werden vollständig verbrannt; somit verlassen diese 13 884 t Kohlenstoff wieder das System.

Die Teilbilanz des Systems Anthroposphäre wird durch folgende Zahlen komplettiert: Als weiterer Kohlenstoff-Output sind die 4 951,4 t C anzuführen, welche von den Menschen (1 976 t C) und Haustieren (2 975 t C) als Kohlendioxid ausgeatmet werden. Im Abwasser verlassen 493 t C die Stadt. Zum Output gehört auch die aus dem Prozeß „Vegetation“ importierte jährliche landwirtschaftliche Ernte von 925 t C.

### Pro-Kopf-Daten

Der Bezug der absoluten Zahlen auf die Einwohnerzahl – also die Ermittlung von Pro-Kopf-Daten – ermöglicht neben einem einfacheren Vergleich mit anderen Studien auch die bessere Veranschaulichung der Ergebnisse. So besitzt etwa der „durchschnittliche Bewohner“ von Ptuj eine Trockenmasse von 20,32 kg, davon ist rund die Hälfte (12,64 kg) Kohlenstoff. Auf jeden Bewohner von Ptuj entfallen 1 136 m<sup>2</sup> des Gemeindegebiets und 1 009,8 MWh Sonneneinstrahlung, verglichen mit einer anthropogenen Energiezufuhr von 20,1 MWh. Fossile Brennstoffe, Strom und Verkehr machen davon fast 60 % aus, das sind 11,9 MWh. Dem durchschnittlichen Wasserverbrauch von 98,8 m<sup>3</sup> (zusammengesetzt aus dem „Import“ von 50,7 m<sup>3</sup> durch Wasserleitungen und der Grundwasserentnahme von 48,1 m<sup>3</sup>) steht eine

Niederschlagsmenge von 1 057,1 m<sup>3</sup> gegenüber. Pro Einwohner werden 510 kg Nahrungsmittel und 605 kg Konsumgüter importiert, diesen Werten stehen die Abfallmenge von 2,1 m<sup>3</sup> (die „im System verbleibt“) und die Abwassermenge von 94,8 m<sup>3</sup> gegenüber.

## Diskussion

Bei den Stoff- und Energieflüssen von Ptuj fällt unmittelbar auf, daß der anthropogene Energiebedarf im Vergleich zum natürlichen Input relativ gering ist. Mit 20,11 MWh pro Kopf und Jahr entspricht der Verbrauch zwar der Größenordnung bereits untersuchter Städte (Hongkong 1971: 14,2; Wien 1991: 30; Brüssel 1975: 38; Zahlen hier und im folgenden nach NEWCOMBE et al. 1978, DUVIGNEAUD & DENAYER-DE SMET 1977, PUNZ et al. 1996), doch liegt er um zwei Zehnerpotenzen unter dem Wert der natürlichen Einstrahlung von 1009,8 MWh (zum Vergleich: in Wien um ein Zehntel, in Brüssel um die Hälfte).

Die Pro-Kopf-Wasserbilanz zeigt, daß Ptuj mit knapp 98 800 Liter etwa ein Zehntel des Niederschlags (Wien und Brüssel: die Hälfte) importiert; der genannte Verbrauch entspricht fast exakt dem Wert von Wien (97 000 l).

Pro Einwohner werden 510 kg Nahrungsmittel importiert (Wien: 810 kg; zum Vergleich die Schweiz: 700 kg nach BACCINI & BRUNNER 1991). Auf der Abfallseite fallen pro Kopf und Jahr immerhin 1,47 m<sup>3</sup> „hausgemachter“ Müll an.

Mit der Methode der Ökosystembilanzierung soll der verantwortungsvolle Umgang mit dem unvermehrten Gut Boden, den begrenzten stofflichen und energetischen Ressourcen – mit einem Wort: die Nachhaltigkeit im Bereich der Siedlungs- wie Wirtschaftsentwicklung – gefördert werden (vgl BACCINI & BADER 1996, Sustain 1998, GEISLER et al. 1999). Wie nachhaltig ist Ptuj? Betrachtet man zunächst die Strukturanalyse, so fällt der hohe Anteil an landwirtschaftlichen Flächen (46,5 %) in Ptuj (Wien: 18,4 %; Brüssel: 6,5 %) auf. Diese Zahl ist nicht nur als Kompensation für den geringen Anteil an gärtnerisch gestalteten (4 %) und naturnahen Flächen (0,1 %) interessant. Zusammen mit der Waldfläche von 15 % ergibt sich daraus die relativ ausgewogene Kohlenstoffbilanz zwischen natürlichem und anthropogenem Kohlenstoffumsatz (Abb. 4), welche etwa darin zum Ausdruck kommt, daß rund zwei Drittel der anthropogenen Kohlendioxidemission durch die pflanzliche Assimilation (13 142 t C) fixiert wird.

Der „Autarkiegrad“ (im Sinne von BACCINI 1999) auf dem Biomassesektor ist also relativ hoch. Es ist dies ein Ziel, welchem beispielsweise die Schweiz (Raumordnung, 1996) bereits Rechnung trägt: „Der Erhaltung landwirtschaftlichen Kulturlandes wird prioritärer Stellenwert gegenüber baulichen Nutzungsansprüchen gegeben“ (womit implizit den Forderungen des Schweizerischen Bauernverbandes nach Unterschützstellung eines Minimums an Fruchtfolgeflächen Rechnung getragen wurde; SBV 1984).

Bei der Ressource „Wasser“ weist Ptuj eine günstige Bilanz auf; negativ sind die hohen Leitungswasserverluste von etwa 25 % (Wien dagegen nur 7 %: DÖRFLINGER et al. 1995, HIETZ et al. 1997) zu vermerken.

Die beachtlichen Abfallmengen führen dazu, daß nach Aussage der Deponiebetreiber die Kapazität der Deponie praktisch erschöpft ist, sodaß weitere Maßnahmen wie Mülltrennung und effizientere Kompostierung eine Reduzierung des Abfalls notwendig machen.

Der Energieverbrauch von Ptuj liegt mit rund 20 MWh im Bereich einer typischen Erste-Welt-Stadt. Die natürliche Energieeinstrahlung auf die Stadtfläche ist allerdings hundertmal so groß wie die anthropogene Energiezufuhr, sodaß (neben allfälligen Energieeinsparungen) das Potential zur Substitution fossiler Energieträger – etwa durch Sonnenenergie – groß ist.

## Literatur

- ADAM K., 1988: Stadtökologie. F. Hirt, Unterägi.
- BACCINI P., 1999: Das grosse Experiment „Nachhaltiger Ressourcenhaushalt“: naturwissenschaftliche und anthropologische Entwürfe. Festvortrag 179. Jahresversammlung SANW (= Schweizerische Akademie für Naturwissenschaften) Luzern. NZZ (= Neuc Zürcher Zeitung) 246 (22.10.1999), p. 17.
- BACCINI P. & BADER H. P., 1996: Regionaler Stoffhaushalt – Erfassung, Bewertung, Steuerung. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- BACCINI P. & BRUNNER P. H., 1991: Metabolism of the anthroposphere. Springer, Berlin.
- BACCINI P., DAXBECK H., GLENCK E. & HENSELER G., 1993: Metapolis. Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt. Bericht 34A des NFP Stadt und Verkehr. Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung, Zürich.
- BESCHORNER S., 1996: Die Entsorgung im Spiegel der Versorgung. Diplomarbeit TU Wien.
- Biotehniska Fakulteta, 1996: Zbornik simpozija Novi izzivi v poljedelstvu. Univerza v Ljubljani, Agronomski oddelek. Ljubljana.
- BRAMRYD T., 1980: Fluxes and accumulations of organic carbon in urban ecosystems on a global scale. In: BORNKAMM R., LEE J. A. & SEAWARD M. R. D. (Eds.), Second European Ecological Symposium Berlin, p. 3-12. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- BRUNNER P. H., DAXBECK H., LAMPERT C., MORF L., OBERNOSTERER R., RECHBERGER H. & REINER I., 1996: Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien, Stoffbilanzen. Wiss. Berichte der Wiener Internationalen Zukunftskonferenz 14, Wien.
- Bundesministerium für Umwelt, 1996: Klimaschutz auf kommunaler Ebene. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.
- CESTNIK V., 1995: Metabolizem pri domacih zivalih. Veterinarska fakulteta v Ljubljani, Ljubljana.
- DASSLER E. & HEITMANN G., 1991: Obst und Gemüse. Paul Parey Verlag, Hamburg.
- DIRMHORN I., 1964: Das Strahlungsfeld im Lebensraum. Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main.
- DÖRFLINGER A. N., 1995a: Quantifizierung ökologischer Parameter im urbanem 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. N., HIETZ P., MAIER R., PUNZ W. & BRANDLHOFFER M., 1995: Ökosystem Großstadt Wien. Quantifizierung des Energie-, Kohlenstoff-, und Wasserhaushaltes unter besonderer Berücksichtigung der Vegetation. Im Auftrag des Magistrats der Stadt Wien, Magistratsabteilung 22, Wien.
- DÖRFLINGER A. N., HIETZ P., MAIER R. & PUNZ W., 1996: Der Kohlenstoffhaushalt einer Stadt am Beispiel Wien unter besonderer Berücksichtigung der pflanzlichen Biomasse und der Nettoprimärproduktion. *Verh. Zool.-Bot. Ges.* 133, 41-76.
- DUVIGNEAUD P. & DENAYER-DE SMET S., 1977: L'écosystème urbs. L'écosystème urbain Bruxellois. In: DUVIGNEAUD P. & KOSTEMONT P. (Eds.), *Productivité biologique en Belgique. Scope, Travaux de la Section belge du Programme Biologique International*, p. 581-599. Editions Duculot, Paris-Gembloux.
- ECKERT N., 1993: *Tierphysiologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- EILLENBERG H. (Ed.), 1986: *Ökosystemforschung – Ergebnisse des Solling-Projektes 1966-1986*. Ulmer, Stuttgart.
- FLINDT R., 1986: *Biologie in Zahlen*. Gustav Fischer, Stuttgart.
- FRIEDL H. P., 1994: Fragen zur Gesundheit: Risikofaktoren und Gesundheitsbewußtsein – Ergebnisse des Mikrozensus 1991. *Statistische Nachrichten* 6/1994, p. 479-489.
- GEIGER R., 1961: *Das Klima der bodennahen Luftschicht*. Friedrick Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- GEISLER A., MAIER R., PUNZ W., AIGNER B. & PAVLICEV M., 1999: *Ökosystemare Struktur- und Stoffflußanalyse II*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr, Wien.
- GISI U. & ÖRTL J., 1981: Ökologische Entwicklung in Brachland verglichen mit Kulturwiesen. *Acta Oecol.* 2, 786-798.
- GLIESE J., 1999: Desertifikation – Ursache und Folge von Armut. Eine gefährliche Spirale der Umweltzerstörung. *NZZ (= Neue Zürcher Zeitung)* 272 (22.11.1999), p. 7.
- GOODAL D. W. (Ed.), 1992: *Ecosystems of the world. 8. Natural grasslands*. Elsevier, Amsterdam, New York.
- GÖTZ B. & ZETHNER G., 1996: Regionale Stoffbilanzen in der Landwirtschaft. Der Nährstoffhaushalt im Hinblick auf seine Umweltwirkung am Beispiel des Einzugsgebietes Strem. Umweltbundesamt, Wien.
- Gruppe Wasser, 1993: *Grundsatzkonzept Grundwassersanierung Korneuburger Bucht*. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung und des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- HIETZ P., DÖRFLINGER A. N., MAIER R. & PUNZ W., 1997: Hydrologic cycles – How do cities interfere? In: SCHUBERT U. (Ed.), *Water saving strategies in urban renewal: European approaches*, p. 11-17. European Academy of the Urban Environment. Reimer, Berlin.
- JÖRGENSEN S. E., NIELSEN S. N. & JÖRGENSEN L. A., 1991: *Handbook of ecological parameters in ecotoxicology*. Elsevier, Amsterdam.
- KOLB E., 1980: *Lehrbuch der Physiologie der Haustiere*. Gustav Fischer, Stuttgart.
- KÖRNER C., SCHILCHER B. & PELAEZ-RIEDL S., 1993: *Vegetation und Treibhausproblematik: eine Beurteilung der Situation in Österreich unter besonderer Berücksichtigung der Kohlenstoffbilanz*. In: *Anthropogene Klimaänderungen. Mögliche Auswirkungen auf Österreich – Mögliche Maßnahmen in Österreich (Dokumentation)*. Österr. Akad. Wiss., Wien.
- KRUG H., 1986: *Gemüseproduktion*. Paul Parey, Hamburg.

- KUS M., 1994: Krompir. CZP Kmečki glas, Ljubljana.
- LAH A., 1995: Leksikon Okolje in clovek. Kmečki glas, Ljubljana.
- LARCHER W., 1984: Ökologie der Pflanzen. 3. Aufl. Ulmer, Stuttgart.
- LARCHER W., 1994: Ökologie der Pflanzen. 5. Aufl. Ulmer, Stuttgart.
- LESKOSEK M., 1993: Gnojnjc. Knjizica za pospesevanje kmetijstva. CZP Kmečki glas, Ljubljana.
- LIANG G., 1982: Net radiation, potential and actual evapotranspiration in Austria. Arch. Meteorol. Geophys. Bioclim., Ser. B, 379 ff.
- LIST R. J., 1963: Smithsonian meteorological tables. Smithsonian Institute, Washington D.C.
- MAIER R., PUNZ W., DÖRFLINGER A. N., HIETZ P., BRANDLHOFFER M. & FUSSENEGGER K., 1996: Ökosystem Wien – Die Subsysteme und deren Vegetationsstruktur. Verh. Zool.-Bot. Ges. 133, 1-26.
- MAIER R., PUNZ W., EISINGER K., GEISLER A., AIGNER B. & GÖD U., 1997: Die Dynamik der Urbanen Agglomeration als Determinante der Kulturlandschaftsentwicklung – Ökosystemare Struktur- und Stoffflußanalyse der Marktgemeinde Bisamberg. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Kunst, Wien.
- NEWCOMBE K., KALMA J. D. & ASTON A. R., 1978: The metabolism of a city: The case of Hong Kong. Ambio 7, 3-15.
- OHTONEN R., 1994: Accumulation of organic matter along a pollution gradient: Application of Odum's theory of ecosystem energetics. Microbial Ecology 27, 43-55.
- PAVLICEV M., 1998: Ökosystemare Stoffflußanalyse der Stadt Ptuj im Nordosten Sloweniens. Diplomarbeit Univ. Wien.
- PENZLIN H., 1989: Lehrbuch der Tierphysiologie. VEB Gustav Fischer, Jena.
- PETERSEN H. & LUXTON M., 1982: A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. Oikos 39 (3), 287-388.
- PIETSCH J., 1991: Stadtböden: Entwicklungen, Belastungen, Bewertung und Planung. Eberhard Blottner, Taunusstein.
- POST R. D. & BEEBY A. N., 1993: Microbial biomass in suburban roadside soils: estimates based on extracted microbial C and ATP. Soil Biol. Biochem. 25, 199-204.
- PUNZ W., MAIER R., HIETZ P. & DÖRFLINGER A. N., 1996: Der Energie- und Stoffhaushalt Wiens. Verh. Zool.-Bot. Ges. 133, 27-39.
- PUTZGRUBER N., 1993: Biomassen- und Nährstoffuntersuchungen in einem 40-jährigen Buchenbestand. Diss. Univ. Bodenkultur, Wien.
- Raumordnung (= Grundzüge der Raumordnung Schweiz) 1996. Herausgeber: Eidg. Justiz- u. Polizeidepartement, Bundesamt für Raumplanung, Bern.
- SBV (Schweizerischer Bauernverband), 1984: Kulturlanderhaltung – eine vordringlich raumplanerische Aufgabe. NZZ (= Neue Zürcher Zeitung) 181 (8.8.1984): p. 19.
- SCHAEFER M., 1990: The soil fauna of a beech forest on limestone: trophic structure and energy budget. Oecologia 82, 128-136.
- SCHIEFER F., SCHACHTSCHABEL P., BLUME H. P. & HARTGE K. H., 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart.
- SKLEDAR M. & LEBAN P., 1996: Splosno poljedelstvo. Drzavna Zalozba Slovenije, Ljubljana.
- SMITH J. L., HALVORSON J. J. & BOLTON H., 1993: Soil microbial biomass and activity of a disturbed and undisturbed shrub-steppe ecosystem. Soil Biol. Biochem. 25, 545-552.

- SMOLE I., 1988: Katalog goznih združb Slovenije. Institut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana.
- Statistisches Jahrbuch Sloweniens 1997: Statistčni Urad Republike Slovenije, Ljubljana.
- STUMBERGER B., 1993: Krajinski park Sturmovci. Občina Ptuj, Sekretariat za družbene dejavnosti, Ptuj.
- SUKOPP H., 1984: Großstadt als Gegenstand ökologischer Forschung und als Unterrichtsgegenstand. Verband Deutscher Biologen, Landesverband Bayern, p. 1-24.
- SUKOPP H. & WITTIG R., 1993: Stadtökologie. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Sustain, 1994: Forschungs- und Entwicklungsbedarf für den Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr und des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie. Wien und Graz.
- TROEH F. R. & THOMPSON L. M., 1993: Soils and soil fertility. Oxford Univ. Press, New York.
- WASTL-WALTER D., 1996: Die Neuordnung der Gemeindestruktur in Slowenien. Mitt. Österr. Geograph. Ges. 138, 207-222.
- WOODWELL G. M. (Ed.), 1984: The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: measurement by remote sensing. Scope 23. Wiley & Sons, Chichester.
- Zveza Geografskih Drustev Slovenije, 1996: Spodnje Podravje s Prlekijo. Možnosti regionalnega in prostorskega razvoja. 17. zborovanje slovenskih geografov; Ptuj, 23.-26. oktobra 1996. Ljubljana.

Manuskript eingelangt: 2000 05 15

Anschrift: Mag. Mihaela PAVLICEV, Ass.-Prof. Mag. Dr. Wolfgang PUNZ und Univ.-Prof. Dr. Rudolf MAIER, Institut für Ökologie und Naturschutz 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: 2000

Band/Volume: [137](#)

Autor(en)/Author(s): Punz Wolfgang, Maier Rudolf, Pavlicev Mihaela

Artikel/Article: [Ökosystemare Struktur- und Stoffflußanalyse der Stadt Ptuj \(Slowenien\). 265-283](#)