# Wechselwirkung zwischen anthropogenem und natürlichem Stoffhaushalt der Stadt Wien am Beispiel von Kohlenstoff, Stickstoff und Blei

Renate Paumann
Richard Obernosterer
Paul H. Brunner

Im Auftrag des Magistrates der Stadt Wien
MA 22 - Umweltschutz

Wien, im Dezember 1997

# 6 Zusammenfassung

Die Ziele vorliegender Arbeit waren es, auf Basis bestehender Studien [Daxbeck et al., 1996; Maier et al., 1996] den anthropogenen und den natürlichen Güter- und Stoffhaushalt der Stadt Wien mit Hilfe des Instrumentes Stoffflußanalyse zu erfassen und zu verknüpfen, zukünftige Umweltproblem zu erkennen und in ersten Ansätzen Bewertungskriterien für einen ressourcenschonenden und langfristig umweltverträglichen urbanen Güter- und Stoffhaushalt zu definieren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Bedeutung hat der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien im Vergleich zum natürlichen Stoffhaushalt?
- Wie kann eine Verknüpfung zwischen anthropogenem und natürlichem Stoffhaushalt durchgeführt und die Wechselwirkungen zwischen menschlichen Aktivitäten und natürlicher Umwelt aufgezeigt werden?
- Lassen sich vom Ist-Zustand Prognosen erstellen? Aufbauend auf diesen Prognosen sollen Vorschläge für eine aktive Stoffbewirtschaftung von Kohlenstoff, Stickstoff und Blei erbracht werden.

## 6.1 Methodik

Im ersten Teil des Kapitels Methodik wird die Vorgangsweise bei der Erfassung des Kohlenstoff-, Stickstoff- und Bleihaushaltes der Stadt Wien mit dem Instrument ‘Stoffflußanalyse’ [Baccini & Brunner, 1991] beschrieben. Dazu wurden zwei Teilbilanzen, nämlich ein ‘Teilbilanz Wasserhaushalt’ und ein ‘Teilbilanz anthropogene Güter und Luft’ erstellt. Beide Teilbilanzen sind im Gesamtsystem ‘Anthroposphäre und natürliche Umwelt Wiens’ zusammengefaßt.

Im zweiten Abschnitt werden die Kriterien angeführt, nach denen der anthropogene mit dem natürlichen Stoffhaushalt verknüpft und die Wechselwirkungen bewertet werden. Die wesentlichen Flüsse zwischen Anthroposphäre und Umwelt stellen *Ressourcen* und *Emissionen* (inklusive Abfall) dar. Die Bewertungskriterien, die im Rahmen vorliegender Arbeit gewählt wurden sind für Emissionen 1) der Vergleich von toxikologischen Grenzwerten mit in Umweltkompartimenten gemessenen bzw. berechneten Konzentrationen (Risk-Assessment-Faktor) und 2) der Vergleich von anthropogenen mit natürlichen Stoffflüssen (Geogener-Referenz-Faktor). Als Bewertungskriterium für Ressourcen wird der Autarkiegrad, das ist der Prozentsatz der Selbstversorgung einer Region mit Ressourcen (z.B. Energieträger, Wasser, Kritisches Verdünnungsvolumen für Abwasser) gewählt.

## 6.2 Ergebnisse und Diskusssion

Stoffflußanalyse

***Güter***

Die mengenmäßig wichtigsten Güter sind natürlichen Ursprungs. Größter Güterfluß ist der Luftdurchsatz durch die Planetare Grenzschicht. Der jährliche Wasserdurchsatz (Wasserimport Planetare Grenzschicht und Oberflächengewässer) beträgt nur rd. 4,3 %, der Import anthropogenen Güter rd. 1,4 ‰ des Luftdurchsatzes. Das anthropogene Güterlager (Infrastruktur, Deponie) ist mehr als doppelt so groß wie die Lager in der Planetaren Grenzschicht (500 m), das Lager in der Hydrosphäre und das Lager in Boden und Vegetation zusammen und wächst mit 1,3 % bis 3 % jährlich. In der Umwelt erfolgt eine Abnahme von Bodenmaterial und versiegelter Fläche mit 0,4 % und ein Biomassezuwachs im Wald mit 0,7 % jährlich, das sind 8 ‰ bezogen auf den ganzen Prozeß Pedosphäre und Vegetation.

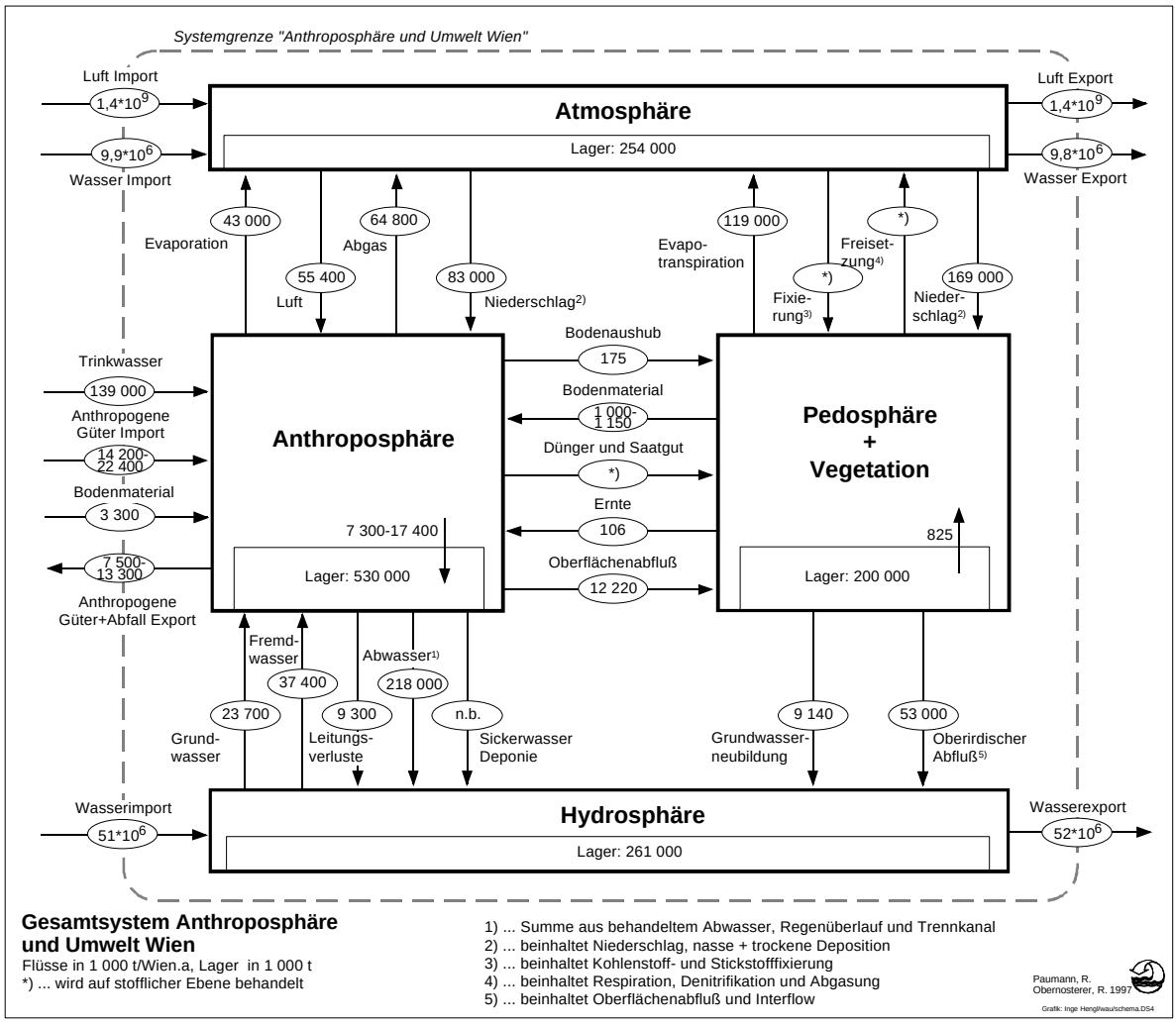


*Abbildung 6-1: Güterhaushalt der Stadt Wien*

### *Kohlenstoff*

Die Gesamtbilanz für Kohlenstoff wird dominiert durch den Kohlenstoffimport in anthropogenen Güter und Luft. Der Kohlenstoffdurchsatz durch die Planetare Grenzschicht ist der größte Fluß im System. Der Kohlenstoffimport in anthropogenen Güter beträgt rd. 2,2 %, der Kohlenstoffimport in den Oberflächengewässern rd. 1 % des Kohlenstoffdurchsatzes der PLG. Die Kohlenstoffemissionen betragen nur rd. 1,1 % des jährlichen Kohlenstoffurchsatzes durch die Planetare Grenzschicht. Das sind aber etwa 10 mal so viel, wie jährlich durch die Wiener Vegetation gebunden wird (Fixierung durch Primärproduktion) und etwa 54 mal soviel wie durch Biomassezuwachs im Wienerwald (Lageranreicherung: 9.500 t/a) langfristig gebunden wird.

Das Kohlenstofflager Anthroposphäre wächst mit 1,1 bis 3 % jährlich, im Prozeß Pedosphäre und Vegetation erfolgt einerseits eine Lageranreicherng von 0,3 % jährlich durch Biomassezuwachs im Wald, andererseits eine Abreicherung von Boden durch Bautätigkeit.

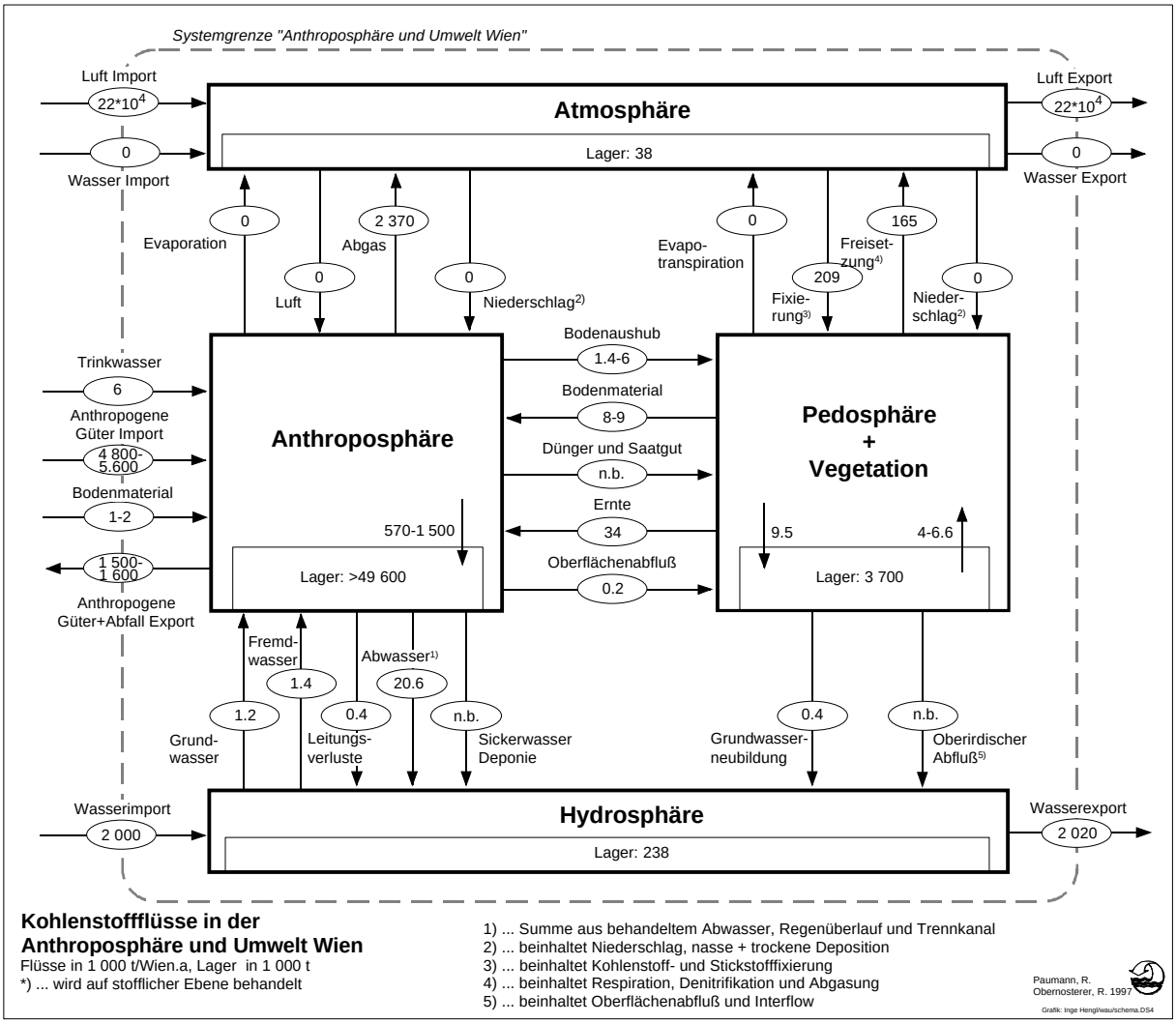


*Abbildung 6-2: Kohlenstoffhaushalt der Stadt Wien*

### *Stickstoff*

Den größten Stickstoffffluß (> 99 %) stellt der Durchsatz von molekularem Stickstoff durch die Planetare Grenzschicht dar. Der Stixkstoffdurchsatz in den Oberflächengewässer liegt bei 2 ‰, der Import anthropogener Güter bei 0,8 ‰ dessen. Bei den Emissionen liegen die Stickstofffrachten im Abwasser und in der Abluft jeweils in der gleichen Größenordnung. Die Deposition liegt in einer Größenordnung von 25 % dieser Menge. Der Hauptanteil gelangt in Form von Deposition (70 %) und rund 30 % durch mikrobieller Stickstofffixierung in den Boden.

Für das Jahr 1991 konnte für das Grundwasser eine Lageranreicherung von Stickstoff in der Größenordnung von 3,3 bis 3,4 % bilanziert werden, die vor allem auf die hohe Düngung landwirtschaftlicher Böden zurückzuführen ist. Werden keine Maßnahmen gesetzt, ist mit einer Verdoppelung des aktuellen Nitratgehaltes (derzeit rd. 52 mg $NO_3$/l) in rund 30 Jahren zu rechnen. Das Stickstofflager der Anthroposphäre wächst hingegen 'nur' mit 1 bis 2 % jährlich.

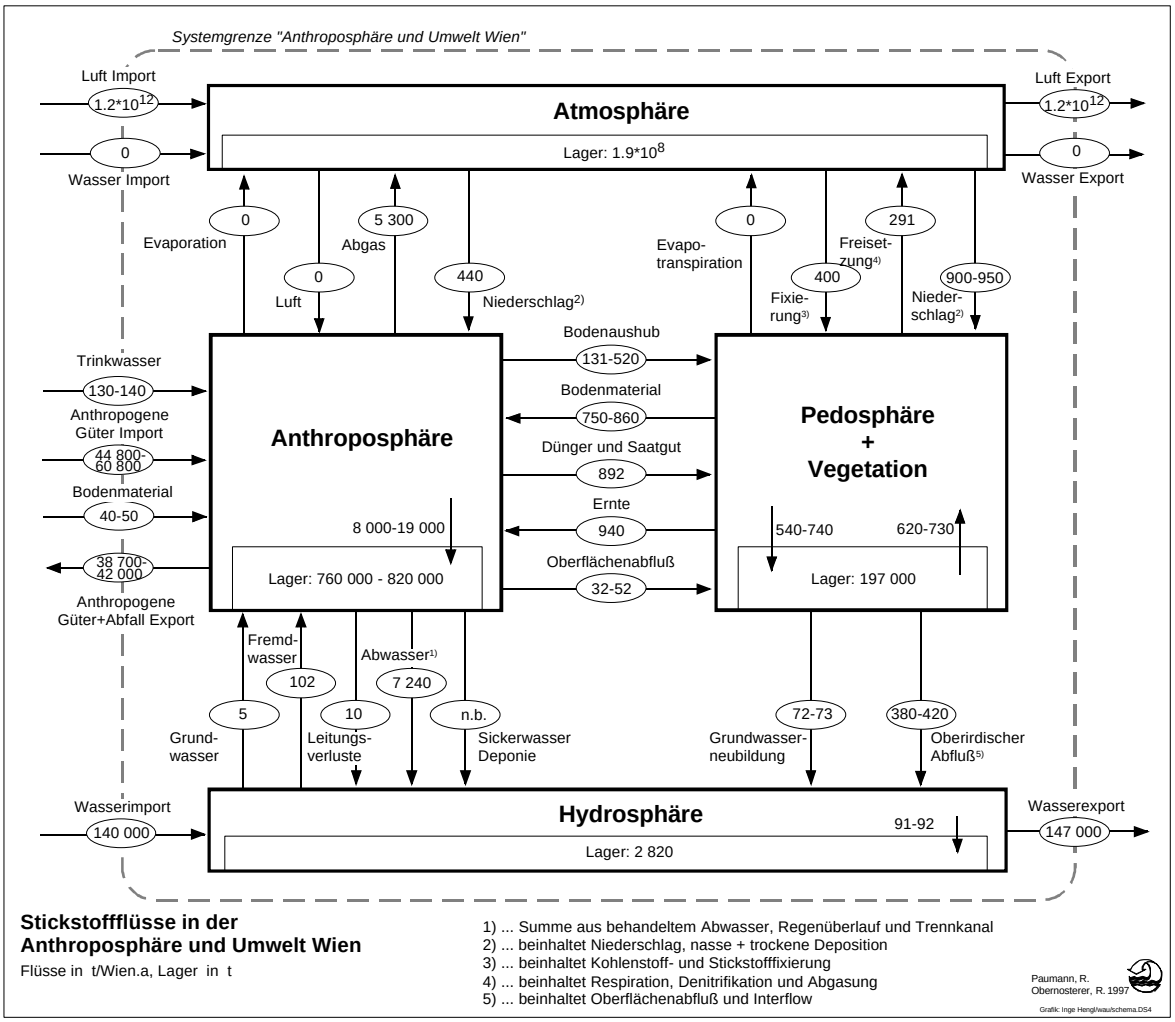


*Abbildung 6-3: Stickstoffhaushalt der Stadt Wien*

### *Blei*

Im Gegensatz zu Kohlenstoff und Stickstoff, übertreffen bei Blei die anthropogenen Flüsse die natürlichen um ein Vielfaches. Der Bleidurchsatz in den Oberflächengewässer, sowie in der Planetaren Grenzschicht beträgt jeweils 0,3 % der Menge, die in anthropogenen Gütern importiert wird. Ein Großteil davon (78 bis 92 %) wird wieder exportiert.

Das Bleilager der Anthroposphäre ist bereits rd. 30 mal größer als das Lager in Pedosphäre und Vegetation. Der jährliche Lagerzuwachs liegt bei 0,5 bis 1,5 %. Bleideposition auf Boden und Vegetation bewirkt ein Wachstum des Bleilagers im Boden und in der Vegetation um rund 0,1 % jährlich. Das Bleilager in der Planetaren Grenzschicht und Hydrosphäre gemeinsam beträgt nur 0,09 ‰ (!) des Lagers der Anthroposphäre.

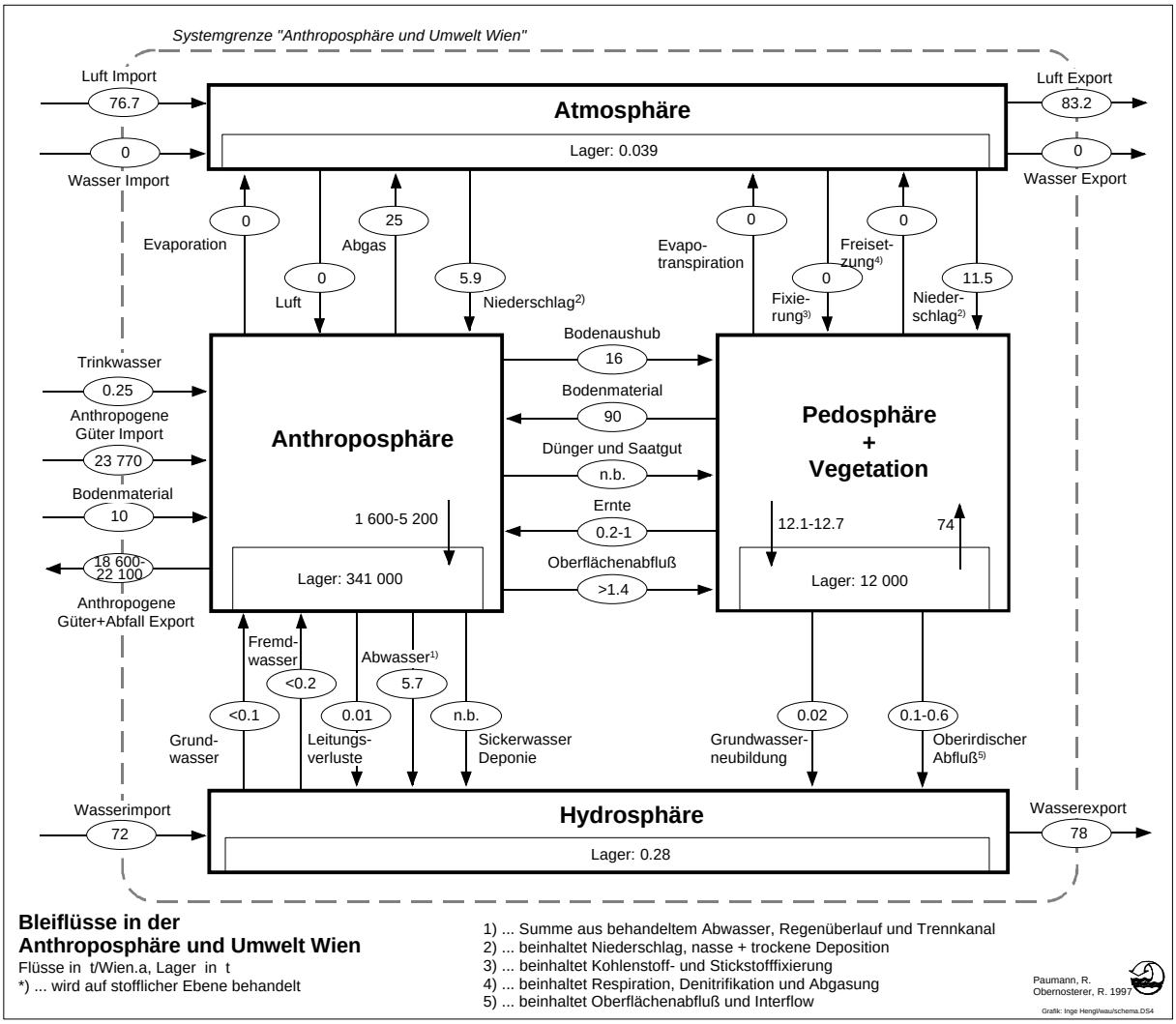


*Abbildung 6-4: Bleihaushalt der Stadt Wien*

Verknüpfung von anthropogenem und natürlichem Stoffhaushalt

***Bewertungskriterien für Emissionen***

Im Jahresmittel liegt der berechnetet Risk-Assesment-Faktor für Kohlenstoff-, Stickstoff- und Bleiverbindungen in der Wiener Luft und in der Donau großteils < 1, das bedeutet, daß kein toxikologisches Risko gegeben ist. Der Geogene-Referenz-Faktor zeigt jedoch, daß die anthropogenen Emissionen rund 10 bis 800 mal höher sind, als vergleichbare Stoffflüsse eines natürlichen Ökosystems.

*Tabelle 6-1: Bewertungskritierien für Emissionen in die Luft und in die Donau: ($RA_{Faktor}$ >1 = Risko für die Umwelt zu erwarten; $RA_{Faktor}$ <1 = keine Risiko für die Umwelt zu erwarten; $GR_{Faktor}$ >1 = die anthropogenen Emissionen sind größer als die natürlichen Emissionen Wiens, $GR_{Faktor}$ <1 = die anthropogenen Emissionen sind kleiner als die natürlichen Emissionen Wiens)*

| **Stoff** | **Verbindung** | **Risk-Assessment-Faktor ($RA_{Faktor}$)** | **Geogener-Referenz-Faktor ($GR_{Faktor}$)** |
|---|---|---|---|
| **Kohlenstoff** | | | |
| Abluft | $CO_2$ | 0,01 | 24 |
| Abwasser | DOC * | 0,5 - 1 | 70 - 650 |
| **Stickstoff** | | | |
| Abluft | $NO_2$ [1)] , $N_2O$ [2)] | 0,9 - 1,5 [1)] | 800 [2)] |
| Abwasser | Ges-N ** | 0,4 | 140 |
| **Blei** | | | |
| Abluft | Pb | 0,1 | 38 |
| Abwasser | Pb | 0,03 | 8 - 100 |

** gelöster organischer Kohlenstoff*
*** Summe aus $NH_4$-N, $NO_3$-N und $NO_2$-N*

Die Einhaltung von toxikologischen Grenzwertkonzentrationen in Umweltkompartimenten, die ein hohes Verdünnungspotential aufweisen (rascher Austausch von Luft und Wasser) sollte nicht als alleiniger Maßstab für die Umweltverträglichkeit von Emissionen herangezogen werden. Vielmehr müssen die gesamten Emissionsfrachten anhand geogener Referenzflüsse bis zur letzten Senke bewertet werden.

***Bewertungskriterien für Ressourcen***

Die im Rahmen der vorliegender Arbeit berechneten Autarkiegrade sind ein Maß für den ‘Selbstversorgegrad’ der Stadt Wien bei Ressourcen (z.B. Energieträger, Wasser und Verdünnungs-Volumen für Emissionen). Es zeigt sich, daß in Wien der Autarkiegrad bei Wasser rund 17 %, bei Energieträger rund 6,4 % und beim Kritischen-Verdünnungs-Volumen für Abwasser rund 2,4 % beträgt.

*Tabelle 6-2: Autarkiegrad Wiens bei Energie, Wasser und Kritisches-Verdünnungs-Volumen für Abwasser*

| Ressource | in Wien verbraucht | in Wien vorhanden | Autarkiegrad (%) |
|---|---|---|---|
| Wasser | 139 Mio $m^3$/a | 23,7 Mio $m^3$/a | 17 |
| Energieträger | 40.677 GWh/a | 2.618 GWh/a | 6,4 |
| KVV Abwasser * | 4879 Mio $m^3$/a | 119 Mio $m^3$/a ** | 2,4 |

** KVP = Kritisches-Verdünnungs-Volumen (siehe Glossar)*
*** Nettogebietsniederschlag (Gebietsniederschlag auf Wiens minus Gebietsverdunstung)*

Tabelle 6-2 zeigt, daß die Stadt Wien derzeit vor allem im Hinblick auf die Ressource 'Kritisches-Verdünnungs-Volumen für Emissionen' limitiert ist. Eine Anhebung des Autarkiegrades erscheint vielfach realistisch. Beispielsweise konnte eine mögliche Steigerung des Autarkiegrades bei Energieträger von 6,4 % auf rund 34 % berechnet werden, wodurch rund 37 % der jährlichen $CO_2$-Emissionen Wiens eingespart werden könnten.

Zu diskutieren wird in Zukunft sein, wie hoch der Autarkiegrad von Regionen im bezug auf Ressourcen sein muß, um 'nachhaltig' zu sein. [Baccini et al., 1997] nennen beispielsweise einen Wert von 80 % für essentielle Güter einer Region. Klar ist, daß das 'System Stadt' im bezug auf benötigte Ressourcen immer bis zu einem gewissen Prozentsatz vom Umland abhängig sein wird, ähnlich einem 'natürlichen Ökosystem' das bis zu einem bestimmten Grad ein offenes System darstellt. Die Entwicklung eines regionalen Nachhaltigkeitskonzeptes für die Stadt Wien setzt die Einbeziehung seines Umlandes voraus.

## 6.3 Schlußfolgerungen

- Die Stoffflußanalyse stellt ein geeignetes Werkzeug zur Erfassung und Bewertung von Güter- und Stoffflüssen zwischen Anthroposphäre und Umwelt dar.

- Die Anthroposphäre Wiens (Infrastruktur, private und öffentliche Haushalte) wächst mit 1 % bis 3 % jährlich, die nicht überbaute Fläche und der Boden nimmt jährlich mit 0,4 % ab, die pflanzliche Biomasse in den Wäldern Wiens um 0,7 % zu. In der Anthroposphäre Wiens werden Kohlenstoff, Stickstoff und Blei rund 10 mal mehr angereichert als in der Umwelt Wiens. Der jährliche Zuwachs in der Anthroposphäre beträgt 1,1 % bis 3 % bei Kohlenstoff, 1 % bis 2 % bei Stickstoff und 0,5 % bis 1,5 % bei Blei.

- Daraus läßt sich schließen, daß die Anthroposphäre in Zukunft eine verstärkte Quelle für Abfälle aber auch Ressourcen (z.B. Baurestmassen) darstellen wird. Gleichzeitig besteht die Gefahr eines Anstieges von Emissionen in die Umwelt (z.B. Treibhausgase in die Luft, Korrosionsprodukte ins Abwasser). Baurestmassen und Bodenaushub stellen heute rund drei Viertel der jährlich anfallenden Abfallmengen in Wien dar. Eine der Prioritäten zukünftiger Maßnahmen muß deshalb bei der Gestaltung und Bewirtschaftung des 'Lagers Anthroposphäre' ansetzen.

- Die Stoffkonzentrationen im Boden inklusive Vegetation wachsen mit 0,1 % (Blei) bis 0,3 % (Stickstoff) jährlich. Ursachen dafür sind in erster Linie die hohe Deposition von Luftschadstoffen (vor allem auf Waldstandorte) und bei Stickstoff zusätzlich die Aufbringung von Dünger auf landwirtschaftlich genutzten Boden. Eine der Folgen davon ist die Anreicherung von Stickstoff im Grundwasser (plus 3,3 bis 3,4 % jährlich) verursacht durch die Nitrat-Auswaschung aus Böden. Eine Abstimmung der landwirtschaftlichen Düngepraxis auf tatsächliche Stoffdefizite ist daher unbedingt notwendig.

- Anthropogene Emissionen können sowohl anhand des Vergleiches von toxikologischen Grenzwerten mit in Umweltmedien gemessenen oder berechneten Konzentrationen (Risk-Assessment-Faktor) als auch anhand des Vergleichs von anthropogenen mit natürlichen Stoffflüssen (Geogener-Referenz-Faktor) bewertet werden. Im Jahresmittel liegt der Risk-Assessment-Faktor für Kohlenstoff-, Stickstoff- und Bleiverbindungen in der Wiener Luft und in der Donau großteils < 1, das bedeutet, daß toxikologische Grenz- und Richtwerte nicht überschritten werden. Der Geogene-Referenzfaktor ist jedoch bei allen Verbindun gen > 1, die anthropogenen Emissionen sind rund 10 bis 800 mal höher als vergleichbare Stoffflüsse eines natürlichen Ökosystems.

- Dies macht deutlich, daß die Einhaltung von Grenzwerten in Umweltkompartimenten, die ein hohes Verdünnungspotential aufweisen (rascher Austausch von Luft und Wasser) nicht als alleiniger Maßstab für die Umweltverträglichkeit von Emissionen geeignet ist. Vielmehr müssen auch die Emissionsflüsse selbst anhand geogener Referenzflüsse bis zur letzten Senke bewertet werden.

- Beide Bewertungskriterien für Emissionen ergeben eine Priorität der Maßnahmen für N > Pb > C in der Luft und C > N > Pb im Abwasser.

- Ein Bewertungskriterium für Ressourcen stellt der sogenannte Autarkiegrad dar. Der Autarkiegrad der Stadt Wien liegt bei Wasser bei rund 17 %. Die Menge des jährlich gebrauchten Wassers ist etwa doppelt so hoch wie der jährliche Niederschlag auf Wien minus der Verdunstung. Der Autarkiegrad der Stadt Wien für Energieträger beträgt 6,4 %. Importiert werden hauptsächlich kohlenstoffhaltige fossile Energieträger (80 %). Eine Anhebung des Autarkiegrades für Energieträger und somit eine Reduktion der Kohlendioxidemissionen ist beispielsweise durch vermehrte Nutzung der Solarstrahlung (+27 %), des thermisch genutzten Abfalles (+ 0,5 %) und der Biomasse des Wienerwaldes (+0,1 %) möglich. Die größte Abbhängigkeit der Stadt Wien vom Hinterland ist jedoch im bezug auf Emissionen gegeben. Der jährliche Nettogebietsniederschlag Wiens, das ist der Niederschlag minus der Verdunstung, beträgt nur 2,4 % des Kritischen Verdünnungsvolumens für Abwässer, das ist jene Wassermenge, die benötigt würde, um die Wiener Kohlenstoff, Stickstoff- und Bleiemissionen in der Donau bis unter den Grenzwert zu verdünnen.

- Daraus läßt sich schließen, daß die Stadt Wien derzeit vor allem im Hinblick auf die Ressource ‘Kritisches-Verdünnung-Volumen für Emissionen’ limitiert ist. Eine Anhebung des Autarkiegrades erscheint jedoch vielfach realistisch. Beispielsweise könnte eine mögliche Steigerung des Autarkiegrades bei Energieträger von 6,4 % auf rund 34 % berechnet werden, wodurch rund 37 % der jährlichen $CO_2$-Emissionen eingespart werden könnten.

- Das System ‘Stadt’ wird in bezug auf benötigte Ressourcen immer bis zu einem gewissen Prozentsatz vom Umland abhängig sein. Analog stellt auch ein natürliches ‘Ökosystem’ bis zu einem bestimmten Grad ein offenes System dar, dessen Stoffkreisläufe aber zur Selbstregulierung befähigt sind. Die Entwicklung eines regionalen Nachhaltigkeitskonzeptes für die Stadt Wien setzt die Einbeziehung seines Umlandes (Hinterland) voraus. Ziel muß es sein, eine Region (Stadt und Umland) zu definieren, in dem Güter- und Stoffflüsse zwischen Anthroposphäre und Umwelt so gestaltet werden, daß langfristig die Fähigkeit zur Selbstregulation ihrer Stoffkreisläufen bewahrt bleibt.

- Die Zusammenführung des Instruments Stoffflußanalyse mit den Disziplinen ‘Umweltmonitoring’ und ‘Nachhaltigkeitsforschung’ trägt dazu bei, das Konzept eines regionalen ressourcenschonenden und langfristig umweltverträglichen Güter- und Stoffhaushaltes für die Stadt Wien verwirklichen zu können. Von der Stadt Wien bereits gesetzte Maßnahmen, wie die Einführung eines Entwicklungsplanes einer umweltgerechten Stadtentwicklung unter Einbeziehung des Wiener Umlandes, ins Leben gerufene Aktionen zur Förderung der Solarenergie und der seit Jahren forcierte Ausbau des öffentlichen Verkehrs sind wichtige Schritte in Richtung ‘Nachhaltiges Wien’.