

## Der Stoffhaushalt ländlicher Regionen im urbanen Schatten

R. Obernosterer, Ch. Lampert, P. H. Brunner

### Einleitung

Im vorliegenden Beitrag wird die Wechselwirkung Stadt - Hinterland aus technisch-naturwissenschaftlicher Sicht diskutiert. Städte sind offene Systeme, deren Energie- und Stoffhaushalt sowohl in der Versorgung als auch in der Entsorgung mit dem Hinterland über ihren Stoffwechsel verknüpft sind. Als Hinterland werden jene, ländlichen wie auch industrialisierten Regionen außerhalb der Stadtgrenzen bezeichnet, die Ressourcen für Städte bereitstellen und ihre festen, flüssigen und gasförmigen Abfälle aufnehmen. Historisch gesehen war die Rolle des Hinterlandes diejenige des Versorgers. Die Verfügbarkeit von Ressourcen bestimmte die Entwicklungsmöglichkeit von Städten. Der folgende Artikel soll zeigen, dass zukünftig die Bedeutung des Hinterlandes als Entsorger immer wichtiger werden wird.



**Abb. 1:** Funktion des Hinterlandes für die Stadt

Abb. 1 zeigt die prinzipiellen Zusammenhänge; das Hinterland als Ver- und Entsorgungseinheit für den urbanen Stoffhaushalt. Praktisch alle Ressourcen (Wasser, Luft, Mineralien, Brenn- und Treibstoffe, Konsum-, Investitions- und Gebrauchsgüter), welche die Stadt für ihren Stoffwechsel benötigt, kommen aus dem Hinterland. Die Vergangenheit zeigt, dass auf der Seite der Versorgung Ressourcenverknappungen meist durch Innovationen und neue Technologien, selten durch Kriege, überwunden werden konnten. An Bedeutung gewinnt jedoch die Entsorgungsfunktion des Hinterlandes. Durch den enormen pro Kopf Stoffumsatz stellt sich zunehmend die Frage, wie die zuvor der Umwelt entnommenen Rohstoffe später als feste, flüssige und gasförmige Abfälle wieder in die Umwelt zurückgeführt werden können, ohne die ökologische Tragfähigkeit des Hinterlandes zu überschreiten. Beispiele wie der Treibhauseffekt, die Ozonschichtausdünnung, die Euthrophierung von Gewässern oder die zunehmende Schwermetallbelastung im Boden zeigen, dass der anthropogene Stoffhaushalt in der Entsorgung an Grenzen stößt.

Städte sind heute zunehmend dissipationslimitiert. Der anthropogene Stoffwechsel wird also nicht durch eine Verknappung der Entnahme an Stoffen aus der Umwelt sondern durch die Abgabe an Stoffen in die Umwelt eingeschränkt. Ein Beispiel, bei dem bereits auf die Dissipationslimitation reagiert wurde, bilden die Bemühungen um ein weltweites Verbot des Einsatzes von FCKW. FCKWs bilden ein unumstrittenes Beispiel für eine Stoffgruppe, bei der die Grenzen nicht durch die Versorgung sondern durch die Entsorgung gesetzt wurden. Sie bilden weiters ein Beispiel, Probleme nicht ausschließlich durch end-of-pipe Technologien zu lösen, sondern durch Maßnahmen in der

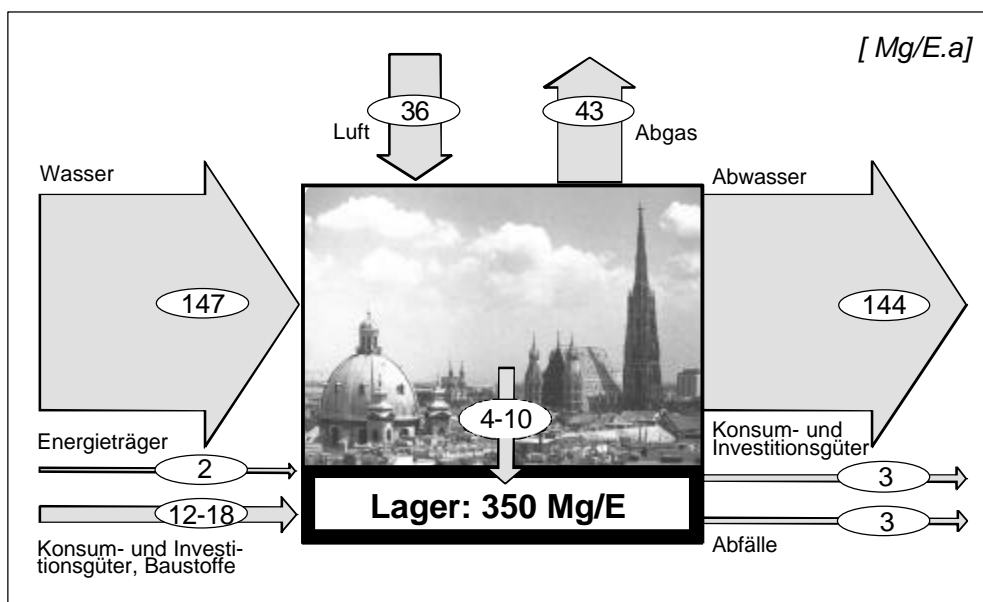
Versorgung, sogenannter Frontendmaßnahmen. Um effiziente Lösungen zu erarbeiten, müssen demnach zukünftige Maßnahmen den gesamten anthropogenen Stoffhaushalt mit einbeziehen.

Die Wechselwirkung zwischen der Stadt und ihrem Hinterland wird in diesem Beitrag am Beispiel der Stadt Wien vorgestellt. Es ist davon auszugehen, dass die Wechselwirkung des urbanen und des ruralen Stoffhaushaltes für europäische Städte generell sehr ähnlich ist und deshalb die Schlussfolgerungen dieses Beitrages auf andere Städte übertragbar sind. Die Basis bilden zahlreiche Untersuchungen des Stoffhaushaltes der Stadt Wien, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden. Die wesentlichen phänomenologischen Ergebnisse der Stoffhaushaltsuntersuchungen bezüglich der Stadt - Land Beziehung sind im Folgenden zusammengefasst.

## Phänomenologie der Wechselwirkung des Stoffhaushaltes der Stadt und ihrem Hinterland

### Der urbane Schatten des Güterhaushaltes

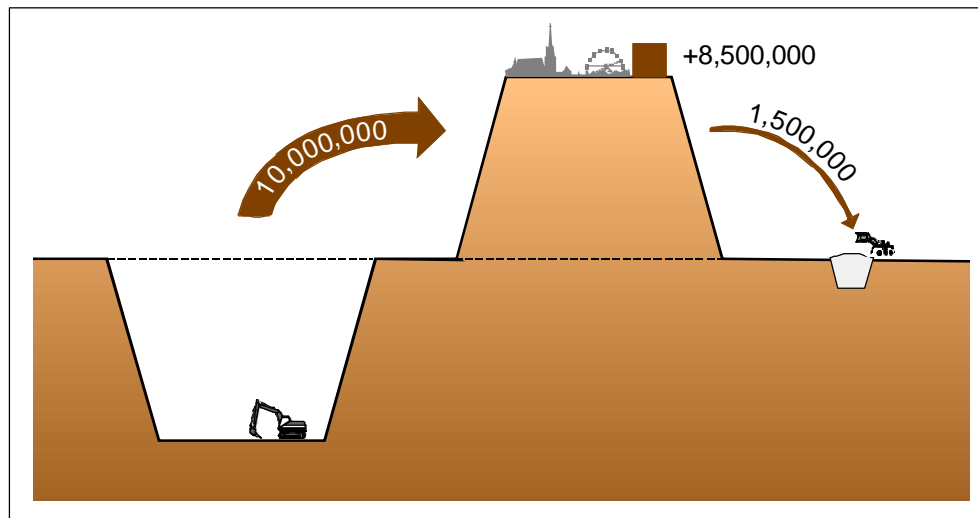
Abb. 2 zeigt den Güterhaushalt der Stadt Wien. Städte sind in erster Linie „Durchflussreaktoren“ für die bedeutendsten Massengüter. Durch die Stadt Wien fließen jährlich etwa 150 Mg/E (Megagramm pro Einwohner) an Wasser und etwa 40 Mg/E an Luft. Dies zeigt eindrucksvoll die Rolle des Hinterlandes für die Entwicklung einer Stadt, sowohl in der Rolle als Versorger mit frischer Luft und frischem Wasser wie auch als Entsorger, durch die Aufnahme der großen Mengen an Abwasser und Abluft. Der Wasser- und Luftdurchfluß stellen die Förderbänder für gasförmige, flüssige und feste Abfallstoffe der Stadt dar. Diese Förderbänder machen 90 % des urbanen Stoffumsatzes aus, in denen die Abstoffe der Städte verdünnt und an das Entsorgungshinterland abgegeben werden.



**Abb. 2:** Der Güterhaushalt der Stadt Wien 1991. (Daxbeck et al. 1996). Flüsse in  $(Mg/E.a)$ ; Lager in  $(Mg/E)$ , Einwohner Wien: 1,5 Mio.

Im Vergleich zum Wasser- und Luftdurchsatz der Städte ist die Menge an Konsum-, Investitions- und Produktionsgütern mengenmäßig wesentlich geringer. Bei diesen vorwiegend festen Gütern kommt es zu dem Phänomen der Lagerbildung. In Städten hat die Menge an akkumulierten Gütern 350 Mg pro Einwohner erreicht.

Abb. 3 zeigt den Schotterfluß durch die Stadt Wien. Der Aufbau der Städte verursacht in den ländlichen Regionen um die Städte ein Abbauvolumen an Schotter, dem der Output an „Schotterabbruch“, wie Straßen- oder Betonabbruch nicht gleich kommt. Im Hinterland bleibt deshalb rein quantitativ gesehen ein „Nettoloch“ in der Landschaft. Der Vergleich des Outputflusses mit dem Bedarf von 10 Mio. Mg/a an Input zeigt, dass selbst bei einem 100% Recycling der 1,5 Mio. Mg/a an „Schotterabbruch“ der Bedarf aus dem Hinterland nur unwesentlich abnehmen würde. Solange die Städte wachsen bleibt die Notwendigkeit des Hinterlandes als Rohstofflieferant erhalten.



**Abb. 3:** Der Schotterdurchfluss des Bauwesens Wien in Mg/a. (Obernosterer et al. 1998).

Neben den Massengütern haben einzelne anorganische wie auch organische Stoffe einen hohen Stoffumsatz erreicht. Während der Güterumsatz des modernen Menschen etwa 10 mal größer ist als derjenige eines Jäger und Sammlers (Daxbeck & Brunner 1992), ist beispielsweise der pro Kopf Bleiverbrauch in den letzten 6.000 Jahren um den Faktor 10.000 gestiegen (Settle & Pattersen 1980). Das Blei, das vorwiegend auf der südlichen Halbkugel abgebaut wird, wird zunehmend auf die Nordhalbkugel verlagert und nach der Verwendung hier deponiert. Bemerkenswert ist, dass sich 90 % des städtischen Metallagers in der gebauten Stadt selbst und lediglich etwa 10 % in ihren Deponien befinden (Obernosterer et al. 1998). Das urbane Materiallager stellt sowohl ein Umweltgefährdungs- wie auch ein Ressourcenpotential dar. In Zukunft gilt es, diese über lange Zeiträume in die Stadt verlagerten Mengen besser zu nutzen. Die Ausbeutung von Rohstoffen im Bergbau des Hinterlandes könnte zukünftig durch die Gewinnung von Ressourcen im „Stadtbergbau“ (city mining) ergänzt werden.

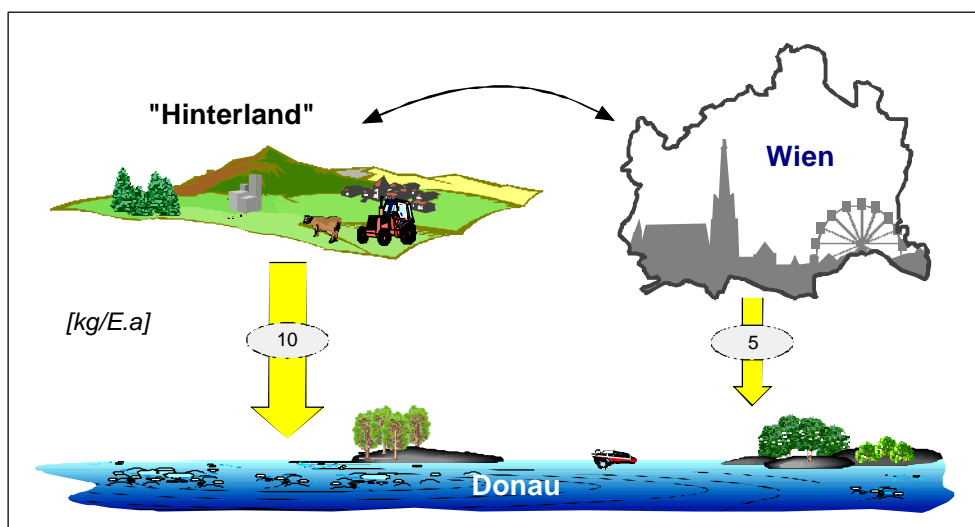
#### Der urbane Schatten durch die Auslagerung von Produktionsbetrieben in das Hinterland

Als Beispiel der Stadt-Hinterland-Beziehung im Produktionsbereich wird eine Lebenszyklusanalyse von Blei für dessen Verwendung in Starterbatterien herangezogen (Smutny 1998). Dabei bilden die Daten das verwendete Blei für den Konsum innerhalb der Stadt Wien und die dadurch induzierten Bleiflüsse im Hinterland (Bergbau, Produktion, Verwertung) ab. Die Ergebnisse zeigen, dass während der Verwendung der Starterbatterien in Wien keine nennenswerten Emissionen entstehen. Wien induziert aber durch den Konsum von Blei-Starterbatterien signifikante Bleiflüsse im Hinterland. Durch Bergbau, Produktion und Recycling der Starterbatterien für Wien werden zwischen 0,3 und 3,6 Mg/a Blei in die Atmosphäre und zwischen 0,1 und 2 Mg/a in die Hydrosphäre des Wiener Hinterlandes emittiert. Die große Bandbreite ergibt sich dabei aus dem unterschiedlichen Standard verschiedenster Werke, da nicht exakt festgesetzt werden kann aus welchem Bergbau bzw. Produktionsbetrieb das in Wien verwendete Blei stammt.

KFZ -Starterbatterien werden weder in Wien hergestellt noch recycelt. Provokant ausgedrückt könnte festgehalten werden, dass eine Stadt einen Teil ihrer Probleme durch die Auslagerung der Produktionsbetriebe in das Hinterland löst. Andererseits könnte gefordert werden, dass nach den Kriterien eines langfristigen umweltverträglichen Stoffhaushaltes die Stadt Verantwortung für ihren Beitrag an Emissionen im Hinterland übernimmt.

### Der urbane Schatten des Nahrungsmittelkonsums

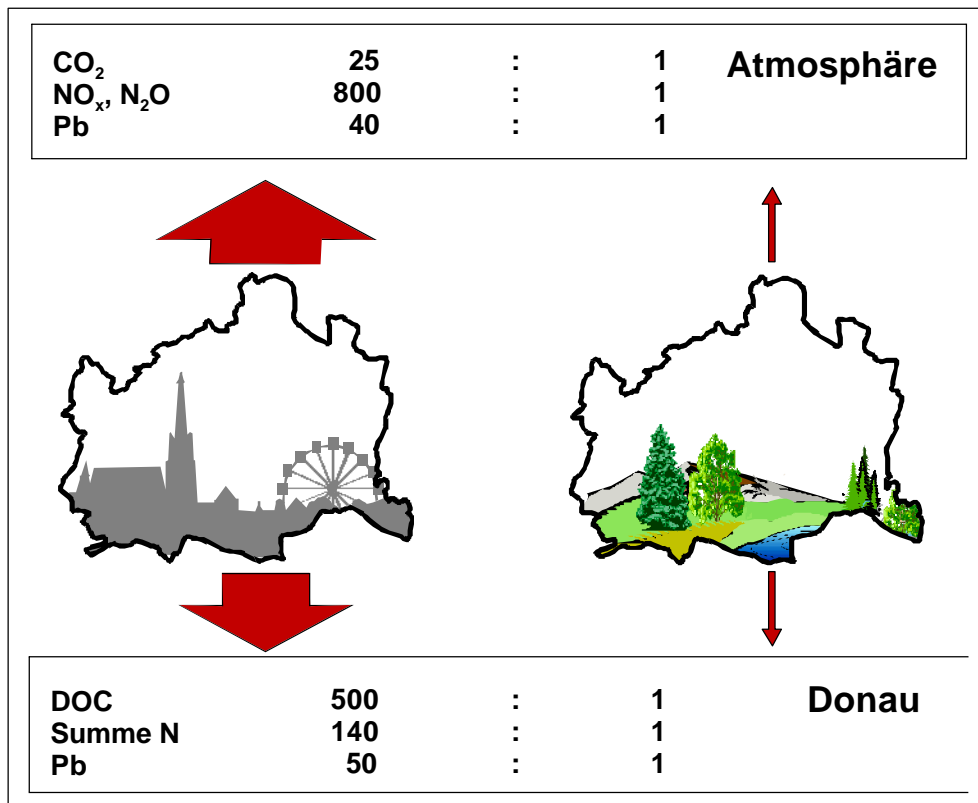
Traditionell stehen die mit der Ernährung verbundenen Aktivitäten in Wechselwirkung mit der Stadt. Sei es durch die Produktion von Nahrungsmitteln durch die Landwirtschaft im Versorgungshinterland oder durch die Emission von teilgereinigten Abwässern in die Vorfluter und letztlich in die Meere als letzte Senken. Intensiv landwirtschaftlich genutzte Regionen im Versorgungshinterland können hohe Stickstoffemissionen in das Grundwasser verursachen, mit den damit verbundenen Problemen etwa für die Trinkwasserversorgung. Stickstoff kann aber auch im Entsorgungshinterland zur Euthrophierung von Gewässern beitragen. Im Falle der Stadt Wien werden die gereinigten Abwässer über die Vorfluter in die Donau eingeleitet. Aufgrund der hohen Verdünnungskapazität der Donau von im Mittel  $1630 \text{ m}^3/\text{sek}$  erhöhen die Stickstoffemissionen Wiens die Stickstoffkonzentration im Fluss um weniger als 5 %. Letztlich führen jedoch die insgesamt transportierten Stickstofffrachten zu Euthrophierungserscheinungen im Donaudelta und in Teilen des Schwarzen Meeres. Abb. 4 zeigt, dass der Beitrag der Stadt Wien selbst 5 kg Stickstoff pro Einwohner und Jahr beträgt. Der durch den Nahrungsmittelbedarf der Stadt Wien induzierte Stickstofffluß in die Donau im Versorgungshinterland beträgt hingegen das doppelte, nämlich rund 10 kg N/E.a. Maßnahmen um die Stickstoffemissionen Wiens in die Donau zu verringern, sollten auch das Versorgungshinterland berücksichtigen - möglicherweise ist es kosteneffizienter, im Hinterland Maßnahmen zu setzen. So wird der in Wien geplante Ausbau der Kläranlage mit einer Denitrifikationsstufe die N-Emissionen in den Vorfluter von 5 kg N/E.a auf etwa 2,2 kg N/E.a reduzieren (Lampert & Obernosterer 1998). Die Emissionen im Hinterland bleiben jedoch mit 10 kg N/E.a unverändert hoch. Diese Hinterland-Emissionen könnten beispielsweise durch geänderte Ernährungsgewohnheiten (insbesondere weniger Fleischverzehr) oder den Einkauf ökologischer Produkte beeinflusst werden. Das Kaufverhalten und die Ernährungsgewohnheiten der Stadt beeinflussen somit die Stickstoffemissionen im Hinterland.



**Abb. 4:** Stickstoffflüsse in kg/E.a der Stadt Wien und der durch die Aktivitäten der Stadt Wien induziert Flüsse im Hinterland der Stadt. (Obernosterer et al. 1998).

## Der urbane Schatten gemessen am geogenen Stoffhaushalt

Ein methodischer Ansatz zur Bewertung der Umweltverträglichkeit von Stoffflüssen aus der Stadt in ihr Entsorgungshinterland ist der Vergleich zwischen anthropogenen und geogenen Flüssen. Es zeigte sich, daß die anthropogenen Emissionen stoffspezifisch um einen Faktor 25 bis 800 größer sind als die vergleichbaren geogenen Stoffflüsse (siehe Abbildung 5). Die Stoffflüsse des „geogenen Wiens“ stellen jene Werte dar, die eine natürliche standortgemäße Vegetation auf den heute versiegelten Flächen Wiens verursachen würde. Die Werte stellen demnach Indikatoren dar, in welchen Ausmaß das Hinterland mit anthropogenen Stoffen beladen wird.



**Abb. 5:** Vergleich anthropogener und geogener Stoffflüsse in die Atmosphäre und in den Vorfluter Donau der Stadt Wien. (Paumann et al. 1997).

### **Diskussion und Schlussfolgerungen**

Die Beispiele zeigen, dass der Stoffwechsel der Stadt mit ihrem Hinterland verknüpft ist. Die Hinterlandbedingungen der Stadt beeinflussen die Entwicklungsmöglichkeit der Stadt, der Stoff- und Energieaustausch muss gewährleistet sein. In beiden Bereichen der Stadt und dem Hinterland kommt es dabei zu Möglichkeiten aber auch Grenzen in deren Entwicklung.

Der urbane Stoffwechsel entspricht primär einem linearen Durchflußreaktor: Wasser und Luft fließen vom Versorgungshinterland zur Stadt und weiter zum Entsorgungshinterland meist in linearer Form. Die Menge an Gütern und Stoffen, die vom Menschen in der Stadt (oder auch in ihrem Hinterland) rezirkuliert werden, ist verhältnismäßig gering.

Für das derzeitige Wachstum der Städte zeigt sich, dass die Kreislaufwirtschaft ansteigende Bedürfnisse nach langlebigen Gütern (bspw. Baumaterialien) nur beschränkt befriedigen kann, da der Bedarf der wachsenden Stadt das Angebot an Sekundärstoffen stark übersteigt.

Die in der Stadt akkumulierten Stoffe und Güter, das „Lager Stadt“, stellt einerseits eine zukünftige Rohstoffquelle dar (city mining); andererseits bedroht dieses Lager langfristig die Qualität von Wasser, Boden und Luft, falls es nicht nach umweltverträglichen Gesichtspunkten bewirtschaftet wird.

Die massenmäßig wichtigsten Güter (Wasser, Luft und Massenrohstoffe) stammen aus dem unmittelbaren Hinterland der Stadt. Oftmals können aber von der Stadt im Hinterland induzierte Emissionen nicht exakt lokalisiert und damit in ihrer Größe nicht exakt bestimmt werden. Es ist nicht nachvollziehbar, welchen Ursprung Ressourcen am globalen Markt haben. Damit kann der Standard von Produktionsbetrieben und daraus folgend der Beitrag an Stoffflüssen und Stofflagern im Hinterland einer Stadt nicht genau ermittelt werden.

Neben der Rolle des Hinterlandes als Versorger der Stadt rückt zunehmend die Rolle als Entsorger in den Vordergrund. Mit der Diskussion um CO<sub>2</sub>-Zertifikate hat der Wettbewerb um das Entsorgungshinterland bereits begonnen. Die kurzfristige Antwort der stoffintensiven Gesellschaften auf die Verknappung des Entsorgungshinterlandes ist somit der Kauf von „freien“ Kapazitäten weniger industrialisierter Staaten.

In Zukunft müssen Städte ihren Stoffhaushalt nach den Kriterien langfristige Umweltverträglichkeit und optimale Ressourcenschonung ausrichten. In der Wechselwirkung Stadt - Hinterland ist es dabei notwendig, den Stoffwechsel derart zu gestalten, Stoffe entweder durch Dissipation über die Transportbänder Wasser und Luft soweit zu verdünnen, dass auch langfristig keine Schädigungen in den letzten Senken entstehen können, oder sie in sogenannten „Endlagern“ über Jahrtausende immobil abzulagern. Die Ressourcenbewirtschaftung ist also danach auszurichten, dass die Ressourcen und die letzten Senken der Stadt und dem Hinterland nicht über ihre Regenerations- und Funktionsfähigkeit hinaus übernutzt werden.

Stoffflüsse in die Umwelt können im Hinterland bedeutender sein, als jene in der Stadt selbst. Für eine zukunftsfähige Entwicklung von Städten ist es notwendig, das Hinterland in die Betrachtung einzubeziehen. Dazu ist es unumgänglich die Wechselbeziehungen der Stadt mit dem Hinterland zu kennen, den Stoffhaushalt des Gesamtsystems zu bestimmen und gemeinsam zu optimieren.

## Referenzen

- Baccini, P. & Brunner, P.H. (1991) *Metabolism of the Anthroposphere*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.
- Daxbeck, H. & Brunner, P.H. (1992) *Regional Material Balance as a Tool for Environmental Monitoring*. Symposium Proceedings, International Symposium on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe, Budapest '92, Seiten 474 - 476, Budapest, Hungary.
- Daxbeck, H., Lampert, Ch., Morf, L., Obernosterer, R., Rechberger, H., Reiner, I. & Brunner, P.H. (1996) *Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien, Projekt Pilot*. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien, Wien.
- Lampert Ch. & Obernosterer R. (1998) *Aspects of the Nitrogen Metabolism of Vienna*. Proceedings to the Workshop "Environmental Systems Analysis and Management", October 1998, Centre for Environmental Science, Stockholm.
- Maier, R., Punz, W., Weish, P., Dörflinger, A., Eisinger, K., Fussenegger, K., Geisler, A. & Gergelfi, H. (1995) *Der natürliche Stoffhaushalt als Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung Wiens unter besonderer Berücksichtigung des natürlichen Kohlenstoff-, Stickstoff- und Bleihaushaltes*. Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Wien.
- Möslinger, J. (1998) *Stadtstrukturbezogene Analyse des Güter- und Stoffhaushaltes der Stadt Wien*. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien, Wien.

- Obernosterer, R., Brunner, P.H., Daxbeck, H., Gagan, T., Glenck, E., Hendriks, C., Morf, L., Paumann, R. & Reiner, I. (1998) Materials Accounting as a Tool for Decision Making in Environmental Policy - Case Study Report - The City of Vienna. Institute for Water Quality and Waste Management, Technical University of Vienna.
- Paumann, R., Obernosterer, R. & Brunner, P.H. (1997) Wechselwirkung zwischen anthropogenem und natürlichem Stoffhaushalt der Stadt Wien am Beispiel von Kohlenstoff, Stickstoff und Blei. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien.
- Settle, D.M. & Pattersen, C.C. (1980) Lead in albacore: guide to lead pollution in America. Science, 207, 1167 - 1176.
- Smutny, R. (1998) Vergleich der Umwelteinwirkungen von linearen versus zyklischen Bleiflüssen anhand der Verwendung von Bleiakumulatoren in Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien, Wien.

**Autoren:**

**R. Obernosterer**

Ressourcen Management Agentur (RMA)  
Initiative zur Förderung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung  
Postfach 112, A-1163 Wien  
Tel.: +43 699/101 40 136, email: robernos@pop.tuwien.ac.at

**Ch. Lampert, P. H. Brunner**

Technische Universität Wien  
Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft  
Karlsplatz 13/226.4, A-1040 Wien  
Tel.:+43 1 58801 22641, Fax.:+43 1 58801 22666  
www: <http://awsunix.tuwien.ac.at>