

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 92 (1994)

Heft: 10

Artikel: Ökologische Thesen zum Stoffwechsel urbaner Systeme

Autor: Baccini, P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235093>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ökologische Thesen zum Stoffwechsel urbaner Systeme

P. Baccini

Urbane Systeme, d.h. dicht besiedelte und grossräumige Regionen mit mehreren hundert Einwohnern pro km² und hohen Energie- und Materieflüssen pro Kopf, werden als anthropogene Ökosysteme begriffen. Die Güter- und Stoffumsätze dieser Systeme zeigen, dass der «physiologisch dominante» Prozess durch die Summe der Privathaushalte gebildet wird. Eine Kreislaufwirtschaft für die ökologisch relevanten Güter ist nicht vorhanden. Das vorhandene Bauwerk (Gebäude und Verkehrswege) bildet die Schlüsselvariable für ökologisch gewichtige Veränderungen in der Ressourcennutzung und -belastung.

Il faut comprendre par systèmes écologiques anthropogènes des systèmes urbains constitués de régions de vaste étendue dont la densité de la population est de plusieurs centaines d'habitants au km² et qui se caractérisent par des flux élevés d'énergie et de matière par tête d'habitant. Les débits de marchandises et de matières de ces systèmes montrent que le processus «physiologiquement dominant» est formé par la somme des ménages privés. Il n'existe pas de cycle économique pour les marchandises ayant des répercussions sur le système écologique. Les ouvrages existants (immeubles et voies de circulation) sont les variables-clé pour des changements écologiquement importants dans le domaine de l'exploitation et de la charge des ressources.

1. Einleitung

Städte sind die komplexesten anthropogenen Bau- und Netzwerke. Sie basieren sowohl in der Versorgung wie auch in der Entsorgung auf grossen, meist regionalen landwirtschaftlichen Nutzflächen, auf einem kontinentalen Umfeld geogener Ökosysteme (z. B. Wälder, Ozeane) und auf globalen Netzwerken des Güteraus-tausches (z. B. Energieträger, Erze, Konsumgüter). Mit der in den letzten Jahrzehnten erfolgten Verdichtung der Verkehrswege und der stark gewachsenen Mobilität gilt der urbane Charakter nicht

nur für Städte mit «historischem Kern» und Bevölkerungsdichten von Tausenden bis Zehntausenden pro km². Er gilt auch für dicht besiedelte Regionen mit mehreren hundert Einwohnern pro km² und hohen Energie- und Materieflüssen pro Kopf (Baccini und Brunner 1991).

Solche Regionen kann man als urbane Systeme begreifen. Sie umfassen Flächen von Tausenden bis Zehntausenden von km². Beispiele dafür finden sich in Westeuropa, in Nordamerika und Japan. Sie können nach heutigem naturwissenschaftlichem Verständnis auch als anthro-

pogene Ökosysteme begriffen werden (Odum 1991). Unterscheidungen zwischen urbanen und ruralen Sektoren sind in solchen Regionen obsolet geworden. Die Anthroposphäre, welche zwar nur zwischen 10–15% der Gesamtfläche für Gebäude und Verkehrswege beansprucht, legt sich wie ein dicksträngiges Netz über und zwischen die terrestrischen Ökosysteme. Diese wiederum haben den Charakter reiner Kulturlandschaften. Sie werden vom Menschen in ihrem Stoffhaushalt gesteuert und zum grösseren Teil intensiv genutzt. Diese Nutzung ist nicht nur auf die Aktivitäten «Ernährung» und «Wohnen» beschränkt. Durch die neu geschaffenen urbanen Strukturen mit grossen Distanzen zwischen Wohn-, Arbeits- und Freizeiträumen wird auch ein grosser Teil des gesamten regionalen Raumes von den Einwohnern täglich durchfahren.

Im folgenden sollen die Resultate aus zwei Stoffhaushaltsuntersuchungen urbaner Systeme vorgestellt werden. Daraus werden einige Schlussfolgerungen abgeleitet und in Form von Thesen diskutiert.

2. Phänomenologie des urbanen Stoffwechsels

Warum und wie misst man den Stoffwechsel urbaner Systeme? Die erste Generation von Umweltschutzmassnahmen (von 1960 bis 1990) war primär darauf ausgerichtet, stoffliche Belastungen von Wasser, Luft und Boden zu verringern. Es ging und geht noch heute darum, eine hygienische und umweltverträgliche Entsorgung zu erreichen. Mit der neuen Zielsetzung einer nachhaltigen Entwicklung geht es für urbane Systeme darum, sich in

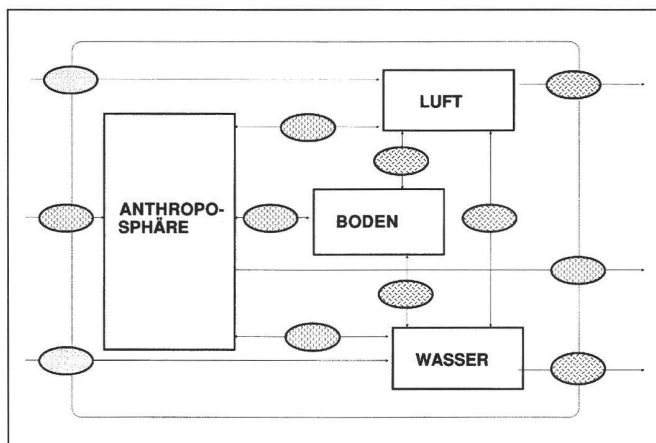


Abb. 1: Schema Regionales System. Strukturierung des regionalen Stoffhaushaltes in vier Teilprozesse (Anthroposphäre, Luft, Wasser, Boden), sowie Input-, Output- und interne Güter. Deren Flüsse und Stoffkonzentrationen werden gemessen (Baccini und Brunner 1991).

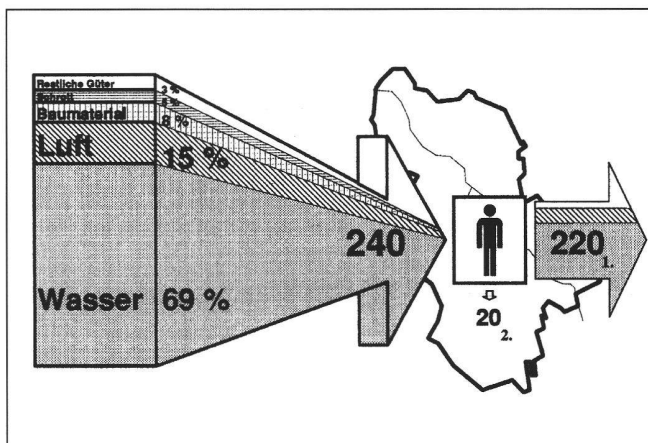


Abb. 2: Güterflüsse durch die Anthroposphäre des Unteren Bünztals, in Tonnen je Einwohner und Jahr (Studie RESUB, Brunner et al. 1990). Der Export [1.] besteht grösstenteils aus Abwasser (166 t) und Abluft (36 t), die Akkumulation in der Region [2.] aus Baumaterialien. 38% der Güterflüsse ent-stammen den privaten Haushaltungen, 29% der Branche Chemie, 9% der Nahrungsmittelindustrie, 7% dem Bauhauptgewerbe und 6% der Metallbranche.

Aktivität	Versorgung		Entsorgung		Δ Lager	Lager
	[t/E.J.]	Abwasser [t/E.J.]	Abgase [t/E.J.]	feste Abfälle [t/E.J.]		
Reinigen	60	60	0	0,02	0,01	0,1
Wohnen	10	0	8,6	0,4	1	50
Transport	12	0	6	2	4	160
Atmen	4	0	4	0	0	0
Essen	1,7	0,9	0,7	0,1	0	0
Total	88	61	19	2,5	5	210

Tab. 1: Abschätzung des Güterumsatzes in privaten Haushaltungen der Schweiz, in Tonnen je Einwohner und Jahr. Die Aktivität Transport umfasst auch denjenigen Teil der Infrastruktur, der für den privaten Verkehr benötigt wird. Das grosse Lager der Aktivitäten Wohnen und Transport besteht aus der langlebigen Infrastruktur (Gebäude, Strassen, Gebrauchsgüter).

Richtung ökologisch orientierter Ressourcenwirtschaft zu entwickeln.

Eine wesentliche Voraussetzung dafür sind Kenntnisse über den gesamten Güter- und Stofffluss. Dazu soll, analog zur Finanzbuchhaltung, eine Stoffbuchhaltung erstellt werden. Als Methodik wird die Stoffflussanalyse eingesetzt (Baccini und Brunner 1991). Sie wurde für urbane Systeme erstmals in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre evaluiert (Brunner und Baccini 1992).

2.1 Stoffhaushalt einer urbanen Region (RESUB)

Die Region wird als Stoffwechselsystem in vier Hauptprozesse gegliedert (Abb. 1). Die Anthroposphäre umfasst die Summe sämtlicher Teilprozesse menschlicher Aktivitäten in Versorgung, Konsum und Entsorgung.

Eine erste Grobanalyse der wichtigsten

Güterflüsse wird in Abbildung 2 vorgestellt. Wasser dominiert mit rund 70% den Inputs in die Anthroposphäre. Der Export besteht grösstenteils aus Abwasser und Abluft. Die Akkumulation in der Region (20 t) besteht aus Baumaterialien in Gebäuden und Verkehrswegen. Auch in relativ stark industrialisierten Regionen bilden die Privathaushalte mit rund 40% die quantitativ wichtigsten Teilprozesse im gesamten Stoffwechsel.

Eine Hochrechnung auf den Güterumsatz in privaten Haushaltungen am Beispiel der Schweiz ergibt die in Tabelle 1 zusammengestellten Werte, gegliedert nach Aktivitäten. Das mengenmässig wichtigste Gut ist Wasser, das zur Reinigung und zum Transport von Fäkalien gebraucht wird. Für den Energiehaushalt werden grosse Mengen an Brenn- und Treibstoffen benötigt. Die Verbrennungsgase (Aktivitäten «Wohnen» und «Transport») sind

deshalb nach dem Abwasser mengenmässig die zweitwichtigsten Stoffwechselprodukte. Ein grosser Teil der festen Güter wird für mehrere Jahre bis Jahrzehnte in die Anthroposphäre eingebaut. Das Lager wuchs im letzten Jahrzehnt jährlich um 2–3%. Die festen Abfälle, die heute in der Entsorgung auftreten, entsprechen nicht jenen festen Gütern, die gegenwärtig in der Versorgung eingeführt werden.

Differenziertere Untersuchungen der regionalen Metallflüsse zeigen die wichtigsten Quellen und Senken. Am Beispiel Zink wird deutlich (Bader und Baccini 1993), dass der anthropogene Beitrag rund hundertmal grösser ist als der geogene (Abb. 3). Der Austrag über das Oberflächengewässer und die Luft wird durch die anthropogenen Beiträge rund zehnmals vergrössert. Die wichtigste interne Senke sind die Bauwerke und Geräte von Haushalt, Gewerbe und Industrie, d.h. rund 80% des jährlichen Inputs sind längerlebige Güter. Der Rückhalt von rund 6 kg/Einwohner Jahr bedeutet eine Erhöhung des Zinklagers von rund 3%. Die zweitwichtigste Senke sind die regionalen Deponien, in denen die zinkhaltigen Rückstände aus der Kehrlichtverbrennung (KVA) und Bauabfälle gelagert werden. Landwirtschaftliche Praxis mit Klärschlammverwertung und zinkhaltigen Hilfsstoffen sowie die Immissionen aus der anthropogenen Luftbelastung führen zu einer Zinkanreicherung im Boden, die allerdings pro Jahr durchschnittlich rund 1% beträgt. Der landwirtschaftliche und der forstwirtschaftliche Boden sind somit die grossräumigen Senken, in denen Zink diffus verteilt wird (Baccini und von Steiger 1993).

An diesem Beispiel wird der generelle Befund illustriert (von Steiger und Baccini

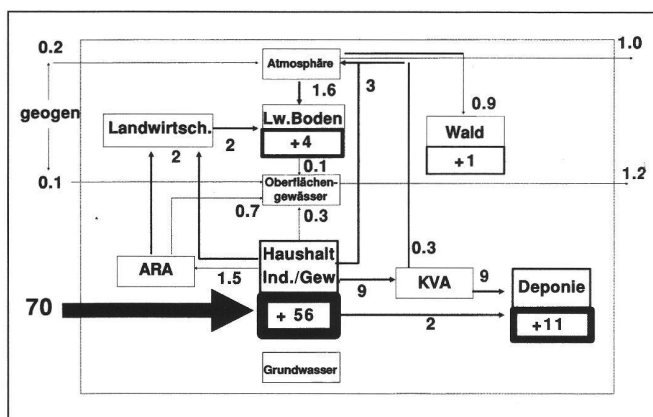


Abb. 3: Regionale Zinkflüsse, in 100 g pro Einwohner und Jahr (Bader und Baccini 1993). Fluxe kleiner 10 g/Einwohner und Jahr sind nicht eingezeichnet. Im Input ist das Verhältnis anthropogen/geogen etwa 100:1. Im Output ist dieses Verhältnis rund 10:1. Die wichtigsten regionalen Senken sind die Anthroposphäre (Haushalt/Industrie/Gewerbe), die Böden und die Deponien.

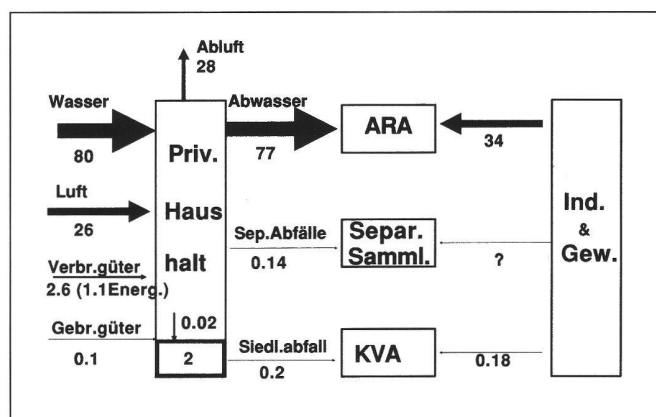


Abb. 4: Güterflüsse in der Stadt St. Gallen (mit ca. 70 000 Einwohnern und ca. 35 000 Privathaushalten), in Tonnen pro Einwohner und Jahr. Gemessen wurden nur die mobilen Güter, also exklusive Gebäude mit fester Haustechnik und Verkehrswegen. Der Anteil der Energieträger (fossile Brenn- und Treibstoffe) an den «Verbrauchsgütern» beträgt 1,1 Tonnen/Einwohner und Jahr. Die Gebrauchsgüter (z. B. Haushaltsgeräte, Möbel) haben eine Aufenthaltszeit von grösser 1 Jahr, die Verbrauchsgüter (z. B. Nahrungsmittel, Verpackung) eine Aufenthaltszeit < 1 Jahr.

Gut	Lager (t/Einwohner)	Mittlere Lebens- dauer (Jahre)	Flux (t/Einw. & Jahr)
Immobilien	50	50	1
Gebrauchsgüter	1	10	0,1
Verbrauchsgüter	< 0,01	< 1	1,5°
Energieträger	1	< 1	1
Wasser	< 0,01	< 1	80
Luft	< 0,1	< 1	25

* ohne Energieträger; ° davon Nahrungsmittel 50%, Verpackungen 10%.

Tab. 2: Grössenordnung der Güterumsetzungen in Privathaushalten.

1990), dass die anthropogenen Metallflüsse in Luft und Gewässer um rund einen Faktor zehn reduziert werden müssten, um in solchen urbanen Regionen ein langsames aber stetiges Auffüllen der Böden zu vermeiden. Die Schlüsselprozesse liegen innerhalb der Anthroposphäre. Die privaten Haushalte spielen dabei eine wichtige Rolle. Diese Rolle soll im folgenden kurz beleuchtet werden.

2.2 Stoffwechsel der Privathaushalte einer Stadt (Metapolis)

Eine jüngste Untersuchung der Stoffwechselprozesse in der Stadt St. Gallen (Baccini et al. 1993) zeigt in Städten, welche für eine ganze urbane Region ein Dienstleistungszentrum darstellen, dass Privathaushalte als Wohneinheiten die wichtigsten Beiträge in die Entsorgungsanlagen liefern. Die Beiträge von Industrie und Gewerbe sind kleiner. Bei der Separatsammlung aus diesem Bereich fehlen noch Daten.

Die Grössenordnungen der Güterumsätze sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Das Verhältnis Betriebsgüter- zu Gebrauchsgüterfluxe (inkl. Immobilien) beträgt ca. 100:1.

Die Bedeutung der Entsorgungspraxis in der Ressourcennutzung soll mit Hilfe von drei Indikatorstoffen, Kohlenstoff, Aluminium und Kupfer, illustriert werden (Tab. 3). Die Entsorgung des Kohlenstoffs, der hauptsächlich als organischer Kohlenstoff in den Energieträgern (Heizöl, Erdgas und Treibstoffe) eingeführt wird, verlässt den Haushalt zu 90% über die Abluft. Aluminium wird etwa je zur Hälfte in Verbrauchsgütern (Verpackungen und Reinigungsmittel) und Gebrauchsgütern (Geräten) eingeführt. Der Output erfolgt hauptsächlich zu gleichen Teilen (je rund 40%) über die Siedlungsabfälle (gemischter Hauskehricht) und die separat gesammelten Güter. Beim Input von Kupfer sind die Gebrauchsgüter die wichtigsten Träger, im Output die separat gesammelten Abfälle. Die Lagerbildung ist bei Kohlenstoff vernachlässigbar, bei Aluminium bereits rund 10%, bei Kupfer sogar 30% des Inputs, also proportional zur mittleren Lebensdauer der entsprechenden Güter. Die bedeutendsten Lager stecken bei allen

drei Elementen nicht in den Gebrauchsgütern, sondern in den Immobilien. Bei Aluminium ist zu ergänzen, dass der hohe Lagerbestand bedingt ist durch die Aluminiumsilikate in den Baumaterialien. Gemessen am Gesamtverbrauch (Bezugsrahmen schweizerische Volkswirtschaft) sind die Privathaushalte mit rund 60% am Kohlenstoffflux beteiligt, bei den Metallen Aluminium und Kupfer jedoch nur etwa 30%.

Aussagekräftig sind zudem die Vergleiche der Aktivitäten bezüglich ihres relativen Bedarfes an den drei Elementen (Abb. 5). Es wird deutlich, dass «Wohnen» und «Transportieren und Kommunizieren» den weitaus wichtigsten Ressourcenbedarf zeigen. Das Heizen der Wohnungen einerseits und der Betrieb des privaten Automobils verlangen rund 80% des Kohlenstoffs. Auch Aluminium und Kupfer sind zu rund 75% in der letzten Aktivität eingesetzt.

3. Ökologische Thesen zum urbanen Stoffwechsel

Die unter Abschnitt 2 erwähnten Untersuchungen (RESUB und Metapolis), die hier

nur mit einigen Ergebnissen illustriert wurden, erlauben die Postulierung folgender allgemeiner Thesen zum Stoffwechsel einer Stadt:

- 1) Urbane Systeme sind stofflich betrachtet «Durchflussreaktoren» ohne bedeutende interne Kreisläufe. Sie benötigen sowohl für ihre Versorgung als auch für die Entsorgung ein beachtliches «Hinterland», dessen Umfang noch nicht oder nur sehr grob quantifiziert und qualifiziert werden kann.
- 2) Die aus ökologischer Sicht bedeutendsten Güter im Stoffwechsel der Privathaushalte sind die Energieträger, respektive die damit zu unterstützenden Aktivitäten «Wohnen» und «Transportieren und Kommunizieren». Alle anderen Anstrengungen zur weiteren Ressourcenschonung und zur Reduktion der Umweltbelastung aus den Privathaushalten sind von sekundärer Bedeutung. Dies gilt vor allem deshalb, weil die inzwischen verbesserten Reinigungstechniken in der Entwertung die aus diesen Prozessen stammenden Restemissionen nicht mehr an erster Stelle stehen. Vor allem der starke Wachstumsbereich der Aktivität «Transportieren und Kommunizieren» mit dem dominanten Ressourcenträger und -verzehr Automobil braucht neue Rahmenbedingungen energetischer und struktureller Art. Ohne solche Massnahmen bleiben sämtliche andere Korrekturen im Bereich der Kosmetik.
- 3) Gesamthaft betrachtet ist für die meisten wichtigen anderen Ressourcen (Metalle und Kunststoffe) die Separatsammlung bereits der wichtigste Entsorgungsweg und muss, da die Privathaushalte in allen untersuchten Fällen (mit Ausnahme des Kohlenstoffs als

	Kohlenstoff	Aluminium	Kupfer
Input	t/E & J	kg/E & J	kg/E & J
Input total	1,1	6,7	0,79
Gebrauchsgut	0,03	3,1	0,76
Verbrauchsgut	0,24	3,5	0,03
Energieträger	0,87	0,1	< 0,1
Wasser	< 0,01	< 0,1	< 0,1
Luft	< 0,01	< 0,1	< 0,1
Output	Verteilung in % von Input total		
Lager	< 1	13	29
Abluft	90	< 1	< 1
Abwasser	2	8	< 1
Sep. Abfälle	3	39	56
Siedlungsabfälle	5	40	15
Lagerbestand	t/E	kg/E	kg/E
Gebrauchsgüter	0,2	33	7,4
Immobilien	2,5	3000	10

Tab. 3: Stoffbilanzen für den Privathaushalt am Beispiel von Kohlenstoff, Aluminium und Kupfer. Die wichtigsten Güter als Elementträger sind fettgedruckt.

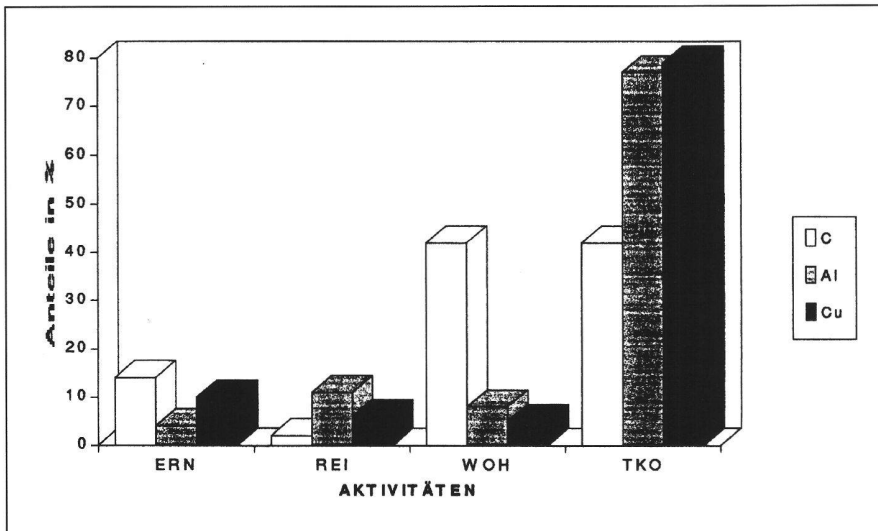


Abb. 5: Vergleich der relativen Elementflüsse (Kohlenstoff C, Aluminium Al, Kupfer Cu) im Privathaushalt in Funktion der Aktivitäten (ERN: Ernähren; REI: Reinigen; WOH: Wohnen; TKO: Transportieren und Kommunizieren).

Indikator der Energieträger) den kleineren Teil am Gesamtfluss liefern, zusammen mit jenen aus Industrie und Gewerbe untersucht werden. Er ist aber in seiner Gesamtwirkung sowohl volkswirtschaftlich wie ökologisch noch unzureichend untersucht. Dazu gehört in besonderer Masse auch der Bereich des Bauwesens, welcher in dieser Studie nicht mitberücksichtigt werden konnte. Es wäre deshalb wichtig, das Schwergewicht in der Entwicklung effizienter Recyclingsprozesse verstärkt auf den Bereich der Separatsammlung und den nachfolgenden Anlagen zu verlagern, bevor man weitere Anstrengungen unternimmt, die differenzierten Triageleistungen im Privathaushalt noch weiter zu verstärken. Die heute beobachteten Forderungen im letzteren

Bereich sind damit zu erklären, dass sich die Wahrnehmung des Einzelnen auf die kurzlebigen Verbrauchsgüter beschränkt.

- Die urbane Schwemmkanalisation ist nur bezüglich Phosphor ein einigermaßen effizienter Konzentrierungsschritt. Für alle anderen Stoffe ist dieser Bereich von untergeordneter Bedeutung in der Ressourcenbewirtschaftung. Die urbane Schwemmkanalisation mit anschließender Reinigung kann also nur aus Gründen der Hygiene und des Gewässerschutzes begründet werden. Die undifferenzierte Art der Wassernutzung ist jedoch kritisch zu hinterfragen, weil eine mittelfristige Verbesserung der Klärschlammqualitäten und des gereinigten Abwassers ohne Strukturänderungen kaum möglich ist.

Literatur:

Baccini P., Brunner P. H. (1991): Metabolism of the Anthroposphere, Springer Heidelberg New York.

Baccini P., Daxbeck H., Glenck E., Henseler G. (1993): Metapolis, Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt, Nat. Forschungsprogramm «Stadt und Verkehr» NPF25, Programmleitung, Zürich.

Baccini P., von Steiger B. (1993): Die Stoffbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Eine Methode zur Früherkennung von Bodenveränderungen, Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 156, 45–54.

Bader H. P., Baccini P. (1993): Monitoring and Control of Regional Material Fluxes, in: Soil Monitoring – a problem analysis (ed. R. Webster), Birkhäuser Verlag, Basel.

Brunner P. H. et al. (1990): RESUB – Der regionale Stoffhaushalt im Unteren Bünztal, EAWAG, Dübendorf.

Brunner P. H., Baccini P. (1992): Regional Material Management and Environmental Protection, Waste Management & Research, 10, 203–212.

Odum E. P. (1991): Prinzipien der Ökologie, Spektrum Verlag, Heidelberg.

von Steiger B. und Baccini P. (1990): Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Ausstrag, Nat. Forschungsprogramm «Nutzung des Bodens in der Schweiz», Bericht Nr. 38, Liebfeld-Bern.

Adresse des Verfassers:

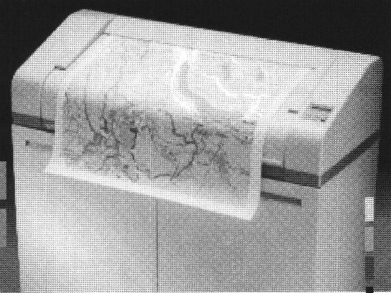
Prof. Dr. Peter Baccini
Lehrstuhl für Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik
Departement Bau und Umwelt
ETH Zürich
CH-8093 Zürich

Elektrostatische Farbplotter Die ideale Lösung für höchste Ansprüche

- ◆ Hervorragende Farbqualität
- ◆ Nahezu unbegrenzte Farbvielfalt – 16.7 Mio. Farben bieten gestalterischen Raum für flächige Farbgrafiken in Konstruktion, Vermessung und Kartographie
- ◆ Vielseitige Anschlußmöglichkeiten – schaffen Verbindungen zu nahezu allen Rechnerplattformen und Anwendungen

- ◆ Operatorloser Betrieb – sorgt für hohe Benutzerfreundlichkeit und niedrige Folgekosten
- ◆ Höchste Zuverlässigkeit – sichert die langjährige Nutzung Ihrer Investitionen

Serie 68000



Ja, ich möchte mehr über den CalComp-Farbelektrostaten wissen.

Name (Herr/Frau): _____ Straße: _____
Titel: _____ PLZ/Ort: _____
Firma: _____ Telefon: _____

CalComp Schweiz · Wehntalerstrasse 6 · 8154 Oberglatt · Tel.: 01/8510330 · Fax: 01/8510125

CalComp
Qualität in Bestform.