

## **Biomassehaushalt in neuen urbanen Systemen**

P. Baccini

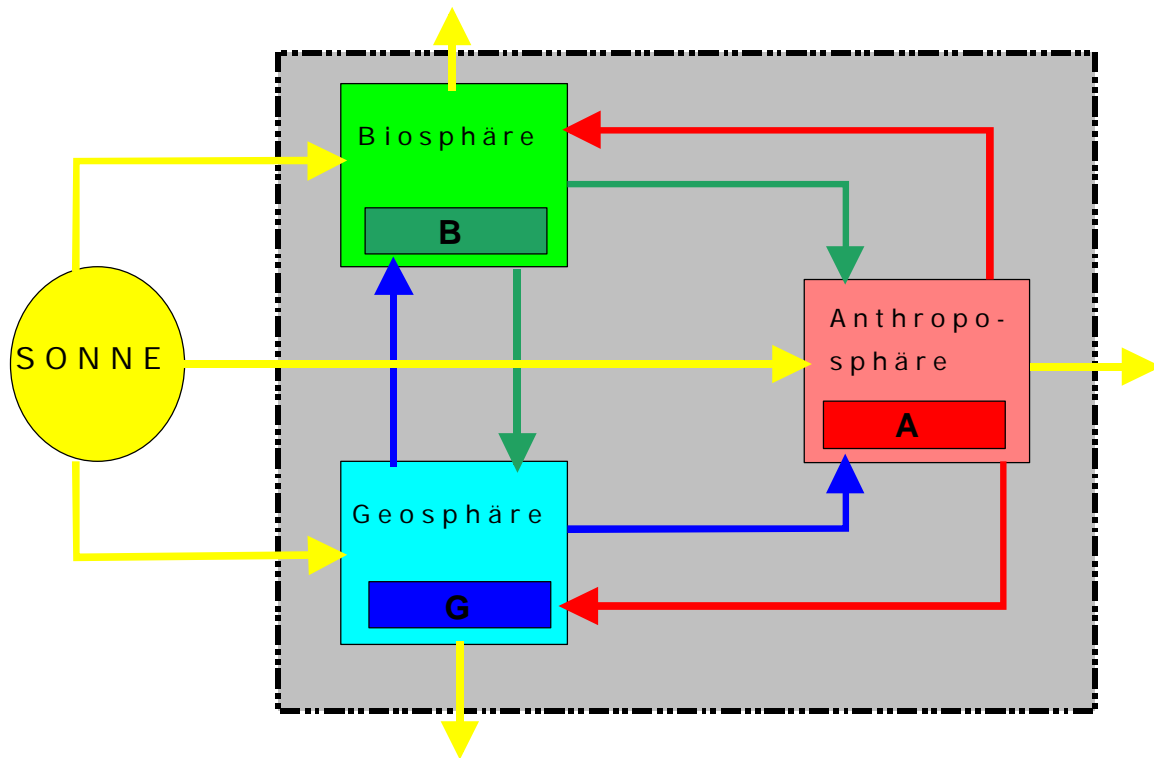
### **1. Von der Stadt zur urbanen Kulturlandschaft**

Die urbane Lebensform wird in den nächsten zwei Generationen weltweit dominant. Demografische Statistiken zeigen, dass in den vergangenen vier Jahrzehnten eine weltweite Verschiebung menschlicher Siedlungen vom Ruralen ins Urbane stattfindet. Dieser Prozess wird sich mit grosser Wahrscheinlichkeit fortsetzen. Für viele Stadtentwerfer und -planer ist die Leitgrösse für gute Urbanität die europäische Stadt des 19. Jahrhunderts. Auf diesem Grundstock war das Urbane des 20. Jahrhunderts aufzubauen. Trotz der inzwischen stattgefundenen grossräumigen Ausdehnung der Siedlungen in einst rurale Landschaften soll diesen durch Verdichtungen das urbane Muster des letzten Jahrhunderts nachträglich aufgesetzt werden.

Eine Minderheit unter den Stadtanalytiker und -entwicklern vertritt eine andere Position. Stadt lässt sich nicht mehr räumlich definieren (Sieverts 1998). Urbanität ist primär Ausdruck eines Lebensstiles. Dieser urbane Lebensstil setzt sich auch in ruralen Kulissen fest. Stadt ist aus soziologischer Sicht ortlos geworden (Siebel 1999). Diese Wahrnehmung wird auch durch metabolische Untersuchungen unterstützt (Baccini 1997). Urbane Kulturlandschaften erstrecken sich heute über Zehntausende von km<sup>2</sup>, mit einer mittleren Besiedlungsdichte von mehreren Hundert Einwohnern pro km<sup>2</sup>. In den Siedlungsflächen finden sich unterschiedliche Dichten von Personen, Gütern und Informationen, sogenannte "Knoten". Sie bilden zusammen mit den technischen Infrastrukturen, die Verbindungen zwischen den Knoten, eine "Netzstadt" (Baccini und Oswald 1998). Diese Verbindungen stehen für die Personen-, Güter- und Informationsflüsse. Morphologisch betrachtet durchdringen die Siedlungs- und Infrastrukturflächen jene für die Biomasseproduktion (Land- und Forstwirtschaft). Diese Territorien haben einen Flächenanteil am Total der urbanen Kulturlandschaft zwischen 80-90%. Solche urbane Systeme finden sich vor allem in Westeuropa (z.B. in den Niederlanden, in der Poebene, in England, aber auch in Nordamerika und in Japan). Es sind jene Siedlungsräume, in denen heute 70-80% der Menschen der entwickelten Welt leben. Die Anthroposphäre (Abb.1) entwickelt sich global zu einem Netzwerk urbaner Systeme. Damit stellen diese urbane Systeme die Schlüsselgrössen in einer "nachhaltigen Entwicklung" dar.

### **2. Metabolische Eigenschaften urbaner Systeme**

Metabolismus wird in den Naturwissenschaften als Terminus technicus eingesetzt, um die Stoffwechselprozesse von Lebewesen in einen Begriff zu fassen. Die Lehre von den Stoffwechselprozessen nennt man Physiologie. Die naturwissenschaftliche Erforschung von Ökosystemen hat uns gelehrt, dass die Kenntnis ihrer Stoffwechselvorgänge für ein vertieftes Verständnis unerlässlich ist. Der Planet Erde kann mit seiner Biosphäre in erster Näherung als geschlossenes System betrachtet werden (Abb.1), d.h. er ist nur durchlässig für Energie.



**Abb. 1: Der Planet Erde als geschlossenes System.** Das Schema metabolischer Prozesse zeigt den Austausch von Energie mit dem Sonnensystem. Die eingeführte Energie erlaubt den internen Transport von Materie (z.B. Wasser, Biomasse, Luft, Gesteine) zwischen den drei Subsystemen *Geosphäre* (abiotische Erdkruste, Hydrosphäre und Atmosphäre), *Biosphäre* ohne Mensch (aquatische und terrestrische Ökosysteme) und der *Anthroposphäre*, die quantitativ zunimmt und urban wird.

Die Anthroposphäre ist jenes Subsystem, welches in der jüngsten Erdgeschichte (in den letzten Jahrtausenden) ein exponentielles Wachstum durchläuft, welches noch nicht abgeschlossen ist. Einerseits steigt in den dreissig bis fünfzig Jahren die Gesamtpopulation mit grosser Wahrscheinlichkeit noch auf 8-10 Milliarden Menschen. Andererseits steigt der Pro Kopf Bedarf an Ressourcen weltweit ständig an. Dies hatte bis heute zur Folge, dass das Lager B des Subsystems Biosphäre quantitativ abnimmt und in seiner Qualität verschlechtert wird, vor allem durch die stofflichen Emissionen des Subsystems Anthroposphäre. Auch das Lager der Geosphäre (z.B. an fossilen Energieträgern, an Metallerzen) ist begrenzt, sodass ein Wachstum von A eine Reduktion von G bedeutet.

Betrachtet man das Subsystem Anthroposphäre differenzierter (Baccini und Brunner 1991), so stellt man fest, dass die urbanen Regionen der entwickelten Länder für diese metabolischen Prozesse hauptverantwortlich sind. Das Konzept einer nachhaltigen Entwicklung verlangt im Ressourcenbereich eine drastische Korrektur im Metabolismus dieser urbanen Systeme. Aus physiologischer Sicht sind sie nicht nachhaltig angelegt, oder anders ausgedrückt: Die urbanen Systeme des 20. Jahrhunderts sind langfristig betrachtet (zwei bis drei Menschengenerationen) nicht überlebensfähig. Weder die Raumplanung noch der Umweltschutz, welche in den siebziger Jahren dieses Jahrhunderts Korrekturen eingeleitet haben, konnten diesen Wachstumsprozess signifikant verlangsamen, bzw. verkleinern. Das Lager A der entwickelten Welt (Abb. 1) beläuft sich inzwischen auf rund 300 Tonnen pro Kopf (Hoch- und Tiefbau) und wächst weiter (Baccini und Bader 1996). Der Energiebedarf für den Betrieb dieser Systeme liegt zwischen 4 bis 10 kW pro Kopf (Primärenergie). Er wird zu mindestens 90% aus fossilen Energieträgern gedeckt (siehe auch Tab.2). Nachfolgend soll am Beispiel des Schweizer Mittellandes die aktuelle Situation im Biomassehaushalt urbaner Kulturlandschaften illustriert werden.

### 3. Der Metabolismus der Stadt Schweiz

Das Schweizer Mittelland ist im Verlaufe des 20. Jahrhunderts zu einer einzigen grossen Stadt zusammengewachsen (Baccini und Oswald 1998). Sie gehört zu den oben definierten neuen urbanen Systemen. Rund 5 Millionen Menschen leben auf einer Fläche von rund 10'000 km<sup>2</sup>. Davon leben fast 80% in Siedlungen mit einer Wohnbevölkerung von weniger als 50'000 Einwohnern. Die heutigen Bewohner der einstigen Kernstädte, die "guten Städte des 19. Jahrhunderts", sind in der Minderheit. Obwohl die Flächen an Land- und Fortswirtschaft immer noch rund 85% des gesamten Territoriums bilden, leben und arbeiten dort weniger als 4% der Bevölkerung. Aber selbst dieser kleine Bevölkerungsteil ist in seinem Lebensstil nicht mehr unterscheidbar von der grossen Mehrheit.

Die morphologischen und physiologischen Problemfelder einer solchen Metamorphose wurden im Projekt SYNOIKOS (Baccini und Oswald 1998) untersucht. Beispielhaft und holzschnittartig sollen einige physiologische Randbedingungen vorgestellt werden. Folgende Arbeitshypothesen dienen als Einstieg, um den nachhaltigen Metabolismus von Regionen vom Typ Schweizer Mittelland zu gestalten. Der Metabolismus ist dann nachhaltig, wenn

1. **der Bedarf an essentiellen Massengütern** wie Biomasse, Wasser, Baumaterialien und Energieträger **zu mindestens 80% autochthon** und **langfristig** gedeckt werden kann.
2. **der Restbedarf** aus einem überregionalen "Hinterland" **so gedeckt** werden kann, dass die **globalen Kapitalien nicht signifikant reduziert** werden.
3. die **Emissionen nicht zu "Altlasten"** für künftige Generationen werden.

Erste Abschätzungen dieser Art wurden für verschiedene Regionen bereits durchgeführt (Buitenkamp et al. 1992). Für das Schweizer Mittelland lassen sich folgende Posulate aufstellen:

#### 1) Nahrungsmittel

Aufgrund der globalen Bevölkerungsentwicklung kann in einigen Jahrzehnten eine weltweite Nahrungsmittelknappheit entstehen, so dass es für Regionen wie die Schweiz kaum ein globales Hinterland für die Grundversorgung geben wird. Das ökologische Potential der heutigen Land- und Forstwirtschaftsfläche ist langfristig essentiell und kann theoretisch, bei angepassten Menüplan, den Grundbedarf der Bevölkerung (heutige Dichten), abdecken.

#### 2) Wasser

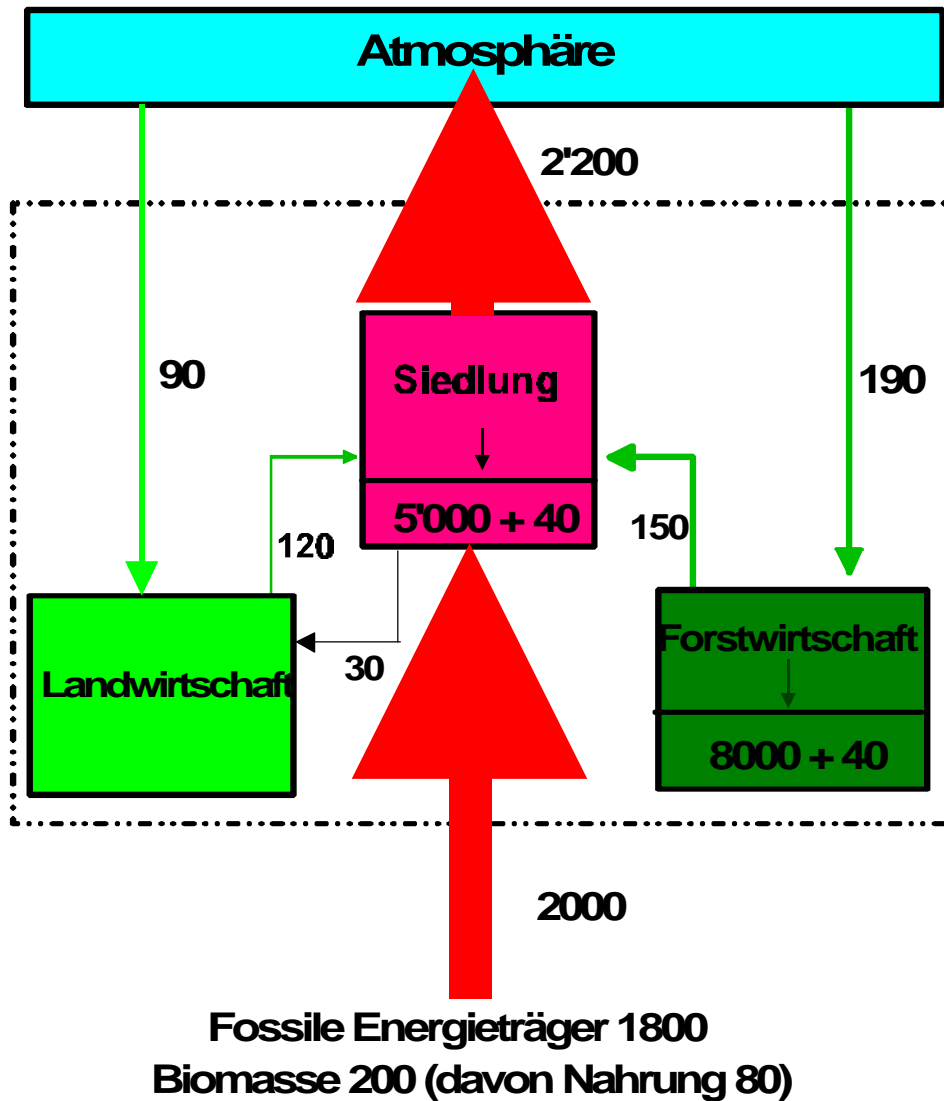
Das Schweizer Mittelland hat, quantitativ betrachtet und unter der Annahme stabiler Klimaverhältnisse, heute und langfristig genügend Wasser. Die noch vorhandenen qualitativen Mängel können behoben werden. Die Wasserversorgung und -entsorgung ist aber untrennbar verbunden mit dem Bauwerk und der Haustechnik. Änderungen der Wassernutzung haben sich am Rhythmus der Bauwerksänderungen zu orientieren.

#### 3) Baumaterialien

Die massenmässig wichtigsten Baumaterialien, sowohl im bestehenden Lager wie auch in der aktuellen Baupraxis, sind Kies und Sand (Redle 1999). Holz, Metalle und Kunststoffe spielen quantitativ eine untergeordnete Rolle. Sie könnten auch in Zukunft Steine und Erden nicht ersetzen (Müller 1998). Mit Steinen ist das Schweizer Mittelland praktisch Selbstversorger.

#### 4) Energieträger

Das Schweizer Mittelland besitzt zur Zeit einen Autarkiegrad bezüglich Energieversorgung von rund 10% (bezogen auf die Primärenergie). Die heutige Versorgung basiert hauptsächlich auf fossilen Energieträgern. Rund 80% der Energie wird für Wohnen und Arbeiten sowie für das Transportieren eingesetzt. Es sind Aktivitäten, die mit dem Bauwerk fest verknüpft sind



**Abb. 2:** Der Kohlenstoffhaushalt der Stadt Schweiz (Flüsse in kg C/Kopf und Jahr; Lager in kgC/Kopf)

Der Kohlenstoffhaushalt (Abb.2) erlaubt eine erste Abschätzung der möglichen Beiträge aus der regionalen Biomasseproduktion (Müller et al. 1995). Aus dieser ersten Analyse wird deutlich, dass aus metabolischer Sicht das Ernährungsverhalten und der Energiebedarf Schlüsselfaktoren in der Metamorphose darstellen. Der **geschwindigkeitsbestimmende Schritt** in einer Neugestaltung des Ressourcenhaushaltes der Region ist die **Veränderungsrate des Prozesses "Siedlung"** (Wohn- und Arbeitsgebäude, deren Verbindungswege und Infrastrukturanlagen). Diese liegt schon aus ökonomischen Gründen bei höchstens 1 bis 2% pro Jahr. Das Schweizer Mittelland muss eine andere Strategie wählen, um seinen Energiebedarf gemäss den obgenannten Kriterien decken zu können. Einerseits kann die Biomasseproduktion der eigenen land- und forstwirtschaftlichen Flächen keinen signifikanten Beitrag zum Ersatz der heute eingesetzten nicht erneuerbaren Energieträger leisten. Andererseits würde er vor allem auf Kosten der regionseigenen Nahrungsmittelproduktion gehen. Dies würde wiederum bedeuten, dass die Nachfrage an "globalem Hinterland" entsprechend steigen würde (Tab.1). Im Hinblick auf eine steigende Nahrungsmittelnachfrage sind aber die Reserven des globalen Hinterlandes (Bsp. Tab.1 mit der Abschätzung für Ecospace) klein.

**Tab. 1:** Vergleich des regionseigenen Angebots an Biomasse mit jenem eines globalen Hinterlandes

	<b>Urb.System "Stadt Schweiz" 1990</b> [ha/Kopf]	<b>Ecospace 2010 *</b> [ha/Kopf]
Ackerbau I und Weideland	0.14	0.19 (Pflanzenprod.) 0.31 (Fleisch & Milch)
Ackerbau II		0.06 (anderes <sup>^</sup> )
Wald (Holzfluss)	0.075 0.5 m <sup>3</sup> /Kopf und Jahr	0.4 m <sup>3</sup> /Kopf und Jahr

\*Action Plan Sustainable Netherlands 1992 [Buitenkamp et al. 1992]

<sup>^</sup> z.B. Fasern für die Textilherstellung

Der Übergang zu einer "zweiten solaren Gesellschaft" ist also nur mit einer schrittweisen starken Reduktion des Primärenergiebedarfes zu erreichen. Ein mittlerer Primärenergiebedarf von 2kW pro Kopf für die Siedlung wäre eine erste Zielvorgabe (Imboden und Baccini 1996). Somit braucht es mindestens zwei Generationen (60 Jahre), um den Energiebedarf auf das Niveau von 2 kW pro Kopf zu senken und mit erneuerbaren Energieträgern zu decken (Tab.2).

**Tab. 2:** Energiehaushalt einer urbanen Region heute und in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts (Szenarion "2. solare Gesellschaft"); nach Imboden und Baccini 1996

	<b>Heute</b>	<b>Szenario "2.solare Gesellschaft"</b>
<b>Primärenergiebedarf in kW pro Kopf</b>	<b>6*</b>	<b>2</b>
<b>Anteile der Energieträger (§)</b>		
• Fossil	78%	<1%
• Solar	<1%	50%
• Wasser	11%	36%
• Kern	8%	0
• Biomasse	1.3%	11%
• Abfall	1.0%	3%

\* Dieser Wert variiert in entwickelten Ländern zwischen 4 und 10

§ Beispiel Schweizer Mittelland

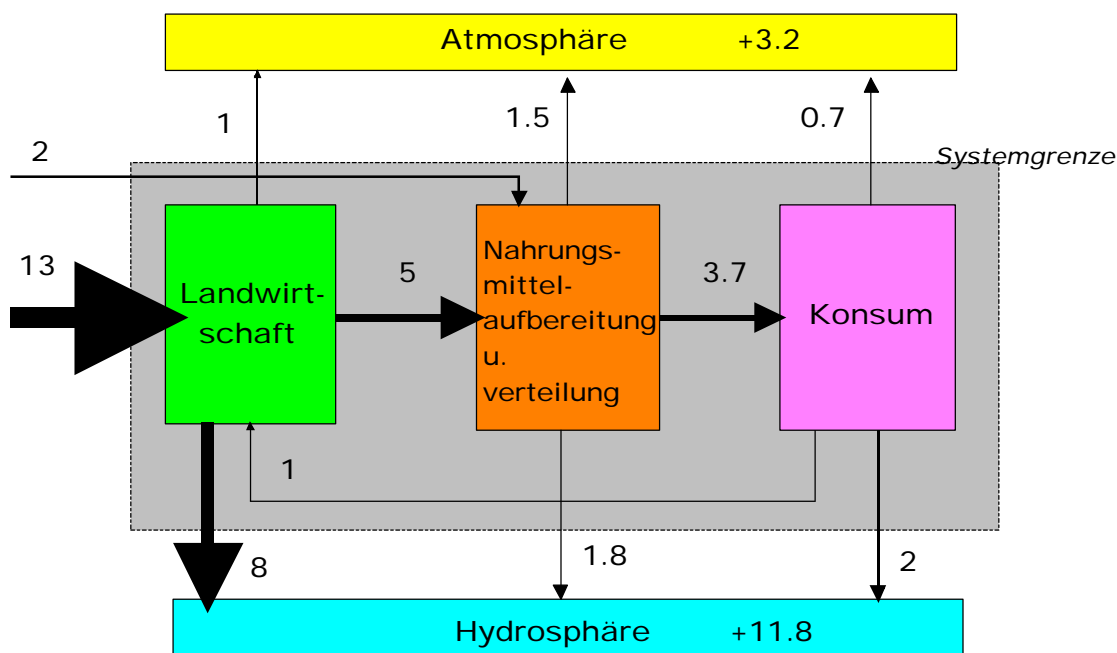
### 3. Der Biomassehaushalt in neuen urbanen Systemen

Noch zu Beginn der neunziger Jahre produzierte die Landwirtschaft im urbanen System "Schweizer Mittelland" relative Überschüsse (Milch, Getreide). Planwirtschaftliche Korrekturen wurden in Richtung "Ökologischer Landbau" eingeleitet. Trotzdem ist der Nährstoffhaushalt noch nicht effizient genug. Ein Vergleich der Phosphorbilanz zwischen 1983 und 1994 zeigt (Tab.3), dass Inputreduktionen durch Düngerkontrollen und Phosphatverboten in Waschmitteln deutliche Wirkungen gebracht haben. Die Phosphatbelastung der Gewässer hat abgenommen. Trotzdem zeigen die Bodenbilanzen (Baccini und von Steiger 1993), dass bei der heutigen Düngepraxis die Böden immer noch mit Phosphor angereichert werden.

**Tab. 3:** Phosphor-Flüsse der Schweiz in 1000 t pro Jahr (nach Baccini 1983 und Siegrist 1997)

	1983	1994
<b>Input</b>		
• Dünger und Futter	27	20
• Waschmittel	5	1
• Deposition	1	1
<i>Total</i>	33	22
<b>Output</b>		
• Böden	25	18
• Hydrosphäre	8	4

Auch beim Stickstoffhaushalt kann noch nicht von einer “Kreislaufwirtschaft” gesprochen werden (Abb.3). Der relativ grösste Umsatz erfolgt im Prozess Landwirtschaft, von wo aus auch die grösste Verluste in die Hydrosphäre stattfinden. Erhöhte Rückführungen aus der Nahrungsmittelaufbereitung und aus dem Konsum werden erst dann gewichtig, wenn die Stickstoff-Effizienz innerhalb der Landwirtschaft wesentlich gesteigert wird. Dies wäre heute aus technischer Sicht möglich. Auch könnte die Landwirtschaft energieautark operieren (Müller et al. 1995).



**Abb.3:** Stickstoffflüsse im Ernähren der Stadt Schweiz (in kg/Kopf und Jahr)

Die Forstwirtschaft nutzt zur Zeit den vorhandenen Holzbestand und die jährlich nachwachsenden Mengen suboptimal. Der Holzbestand der Wälder wächst, weil seine Nutzung für viele Besitzer ökonomisch defizitär ist. Das Holzlager in den Siedlungsgebieten (vor allem Konstruktionsholz) ist bereits in der gleichen Grössenordnung wie jenes der regionseigenen Wälder (siehe auch Abb.1). In urbanen Systemen werden die Wälder durch die Stickstoffbeiträge aus der Landwirtschaft und den Emissionen der Verbrennungsmotoren (Stickoxide) gedüngt (Baccini und Bader 1996). Es gibt starke Indizien (Müller 1998), dass diese Düngung in den vergangenen Jahrzehnten das Wachstum der Wälder beschleunigt hat, obwohl einige Abschnitte durch zu hohe Belastungen auch Vitalitätsverluste erlitten haben.

## **Folgerungen zur Ausgangslage**

- 1) Ein "Hinterland" für das ERNÄHREN solcher urbaner Systeme mit dem heutigen Menüplan ist notwendig und kann nicht mit einer Substitution der regionseigenen Waldfläche sinnvoll kompensiert werden. Hingegen haben Änderungen im Ernährungsverhalten (Verhältnis tierische Produkte zu pflanzlichen Produkten) den höchsten Einfluss auf den regionalen Autarkiegrad.
- 2) Der Düngerhaushalt (Phosphor und Stickstoff) ist noch weit entfernt von einer Kreislaufwirtschaft und damit, physiologisch betrachtet, noch nicht effizient genug.
- 3) De facto (politisch und ökonomisch) sind Land- und Forstwirtschaft in neuen urbanen Systemen eine Art Allmend geworden, deren Rolle von der ganzen Gesellschaft neu definiert werden muss.

## **Entwürfe für den Biomassehaushalt in urbanen Kulturlandschaften**

In nachhaltig sich entwickelnden urbanen Systemen wachsen Land- und Forstwirtschaft mit den Siedlungen zu einer neuen Schicksalsgemeinschaft zusammen, zu einem neuen urbanen Netzwerk, in dem das "Agrarland" gleichzeitig Produktions-, Markt- und Erholungsland wird. Land- und Forstwirte sind "Städter" wie Handwerker, Volkswirte und Informatiker. Langfristig betrachtet wird die "netzinterne Nahrungsmittelversorgung" wieder lebenswichtig. Andererseits übernimmt die Land- und Forstwirtschaft eine gegenüber heute viel bedeutendere Rolle als Erholungslandschaft. Die klügere Vernetzung mit den Siedlungsräumen erhöht zudem die Vielfalt von Flora und Fauna und erhöht damit die ökologische Qualität signifikant (Baccini und Oswald 1998). Der Beitrag der Land- und Forstwirtschaft an der Gesamtenergieversorgung wird auch bei stark reduzierten Bedarf (2kW pro Kopf) rund 10% nicht übersteigen können (Bsp. in Tab. 2).

Zusammenfassend können folgende künftige Rollen im Biomassehaushalt postuliert werden:

1. die Landwirtschaft konzentriert sich auf die Aktivität ERNÄHREN im Nahbereich, wird selber energieautark und verdoppelt die Nährstoffeffizienz,
2. die Forstwirtschaft konzentriert sich in der Holzproduktion auf die Aktivitäten WOHNEN&ARBEITEN (Konstruktionsholz). Holz wird erst sekundär oder tertiär Energieträger.

## **Literatur**

- Baccini P., 1983, Der Phosphorhaushalt der Schweiz. Möglichkeiten und Grenzen aktueller Gewässerschutzmassnahmen, Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, 69, 133-146
- Baccini P., von Steiger B., 1993, Die Stoffbilanzierung landwirtschaftlicher Böden-Eine Methode zur Früherekennung von Bodenveränderungen, Z.Pflanzenernähr.Bodenk., 156, 45-54
- Baccini P., Bader H.P., 1996, Regionaler Stoffhaushalt, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Baccini P., 1997, A City's Metabolism: Towards the Sustainable Development of Urban Systems, Journal of Urban Technology, 4(2), 27-39
- Baccini P., Oswald F.(Hrsg.), 1998, Netzstadt: Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme, vdf Hochschulverlag, Zürich
- Buitenkamp et al., 1992, "Action Plan Sustainable Netherlands", Bleischwitz et al., Zukunftsfähiges Deutschland, 1994; Büro Infras, Zukunftsfähige Schweiz (1996)
- Imboden D., Baccini P., 1996, "Konzepte für eine nachhaltige Schweiz: Mit welchen Ressourcen in welchen Siedlungen auf wessen Land?", in: "Nachhaltige Entwicklung oder hoher Lebensstandard"; Hrsg. St. Wehowsky und K.Pieren, CASS-Symposium 96, Konferenz der schweizerischen wissenschaftlichen Akademien, Postfach 8160, 3001 Bern
- Müller D., Oehler D., Baccini P., 1995, Regionale Bewirtschaftung von Biomasse, vdf Zürich
- Müller D.B., 1998, Modellierung, Simulation und Bewertung des regionalen Holzhaushaltes, , Diss. ETH Nr. 12990, ETH Zurich

Redle M., 1999, Kies- und Energiehaushalt urbaner Regionen in Abhängigkeit der Siedlungsentwicklung. Dissertation ETH No. 13108, ETH Zürich.

Siebel W., 1999, Beitrag für den Diskurs "Stadt und Nachhaltigkeit" des Ludwig Boltzmann-Institutes für Interdisziplinäre Stadtforschung am 3./4.12.99 in Wien (in Publikation)

Siegrist H.R. 1997, Eawag News, 1997, EAWAG CH-8600 Dübendorf

Sieverts Th. 1998, Die Stadt in der Zweiten Moderne, Informationen zur Raumentwicklung, Heft 7/8, 455-473

**Autor:**

**Prof. Dr. Peter Baccini**

Professur für Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik

Departement Bau, Umwelt und Geomatik

ETH Hönggerberg HIF E21

CH-8093 Zürich