

# Nachhaltige Stadtentwicklung

## *M 3.35 Beispiel für die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks*

„Grundlage der Berechnung ist der Pro-Kopf-Verbrauch der wichtigsten Konsumgüter (Rohstoffe, Energie, Lebensmittel, Möbel, Häuser, Autos u. v. m.) einer Bevölkerung. In einem nächsten Schritt wird kalkuliert, wie viel „ökologische Fläche“ jedes Gut belegt ... Wie wird zum Beispiel der Konsum fossiler Energie, wie Öl oder Erdgas, in Fläche umgerechnet?

Wenn man fossile Energieträger nutzt, entsteht unter anderem das Treibhausgas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Pflanzen haben die Eigenschaft CO<sub>2</sub> binden zu können. So kann z. B. 1 Hektar (= 10 000 m<sup>2</sup>) Wald durchschnittlich 3–4 Tonnen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre binden. Diese Menge entspricht der Menge an CO<sub>2</sub>, wie sie bei der Verbrennung von ca. 1 878 Liter Öl in die Atmosphäre abgegeben wird. Das bedeutet für den ökologischen Fußabdruck, dass man bei der Verbrennung von 1 878 Liter Öl 1 Hektar Waldfläche in Anspruch nimmt. Auf diese und ähnliche Weise kann die Nutzung aller wesentlichen Konsumgüter in Fläche umgerechnet werden und zu den „real“ in Anspruch genommenen Flächen für Wohnen, Verkehr oder Gewerbe addiert werden.“

<http://www.regiowasser.de/themen/> (Dez. 2006)

## *M 3.36 Dimension des ökologischen Fußabdrucks*

„Der ökologische Fußabdruck eines Berliners beträgt im Jahr 1998 4,41 Hektar:

Das sind 15 Millionen Hektar für alle Berliner insgesamt.

Dies entspricht einem Kreis von 218 km Radius. Das ist 168-mal die Stadtfläche oder 34 % der Bundesrepublik.

Bei einer nutzbaren Fläche von 7,3 Mrd. Hektar auf der Erde bleiben für 6 Mrd. Menschen 1,2 Hektar Land plus 0,5 ha Meeresfläche/Person oder 1,7 Mrd. Menschen mit dem „Berliner Lebensstandard“ könnte die Erde dauerhaft beherbergen.“

„Zeigt her Eure Füße“ – Ein Projekt von Matthias Schnauss in Zusammenarbeit mit GRÜNE LIGA Berlin e.V. und KATE e.V.

## **Leben auf großem Fuß – der Ressourcenbedarf der Stadt**

Der urbane Lebensstil ist in einem großen Umfang von Ressourcen abhängig, welche im *Umland* oder weltweit gewonnen werden. Der noch immer steigende Bedarf an Nahrungsmitteln, Energie, Wasser und Rohstoffen fordert eine Veränderung unseres Umgangs mit der Umwelt. Die Stadt als der Lebensraum der Zukunft muss langfristig ihren Ressourcenverbrauch so gestalten, dass die natürlichen Ressourcen nicht in einem stärkeren Umfang genutzt werden, als sie sich erneuern.

Um den Ressourcenbedarf einer Stadt festzustellen, wurde in den letzten Jahren eine Reihe von Messverfahren entwickelt, zum Beispiel der „Ökologische Fußabdruck“ und die „Stoffflussanalyse“. Das Ziel war es, mit einer Analyse des Ressourcenverbrauchs Umweltprobleme zu erkennen und Bewertungskriterien für eine ressourcenschonende und nachhaltige Stadtplanung zu entwickeln.

### **Der ökologische Fußabdruck**

Um das Ausmaß der Auswirkungen bestimmter menschlicher Lebensweisen feststellen zu können, hat eine Arbeitsgruppe der University of British Columbia/Kanada die Methode des ökologischen Fußabdrucks entwickelt. Dieser soll den Ressourcenbedarf des Menschen bildlich in der Form des Flächenverbrauchs darstellen.

**M 3.37**

*Berechnung des ökologischen Fußabdrucks eines Bewohners von Berlin (in ha)*

*http://www.agenda21berlin.de/fussabdruck/download/oef\_berlin\_abgeordnetenhaus.pdf (Dez. 2006)*

	Energie	Siedlung	Acker	Weide	Wald	Meer	Total
<b>Nahrung</b>	0,21	–	0,28	0,91	–	0,25	1,66
pflanzlich	0,09		0,24				0,34
tierisch	0,12		0,04	0,91		0,25	1,32
<b>Wohnen</b>	1,04	0,06			0,32		1,42
<b>Verkehr</b>	0,66	0,05		–	–	–	0,71
Straße	0,39						0,39
Schiene	0,08						0,08
Luft	0,2						0,2
Schiff	0						0
<b>Güter</b>	0,46	0	0,05	0,04	0,08	–	0,62
Papier	0,02				0,08		0,1
Kleidung	0		0,04	0,04			0,08
Metallwaren	0,01						0,01
Plastik	0,01						0,01
andere	0,41		0,01				0,42
<b>Summe</b>	<b>2,37</b>	<b>0,11</b>	<b>0,33</b>	<b>0,95</b>	<b>0,39</b>	<b>0,25</b>	<b>4,41</b>

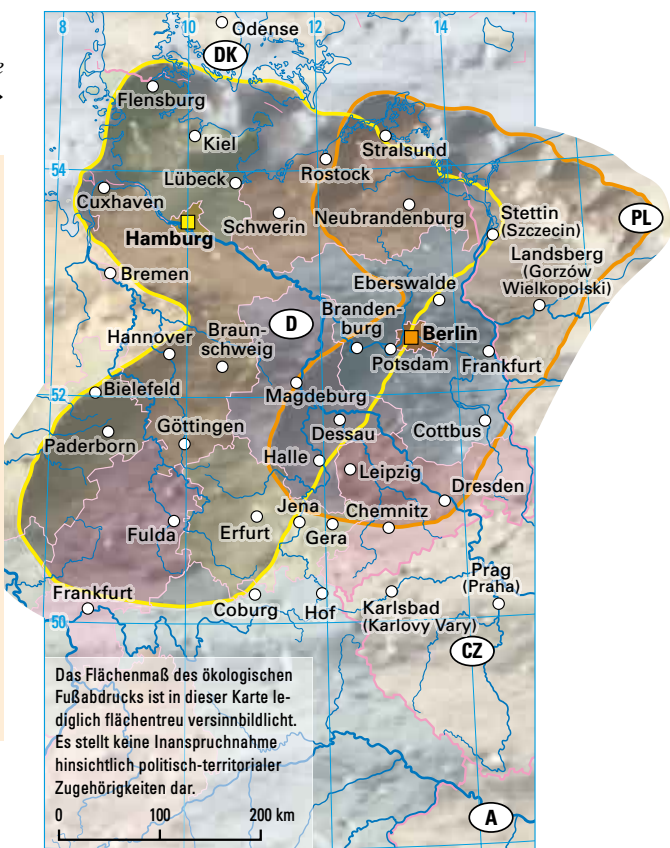
**M 3.38** *Ökologischer Fußabdruck der Städte Berlin und Hamburg absolut →*

Die für Berlin errechnete Fläche [für den ökologischen Fußabdruck] von 4,41 ha ist erheblich kleiner als die für Deutschland (5,32 ha) und Hamburg (5,49 ha) ... Die Situation Berlins ist eine deutlich andere als die Hamburgs [:]

	Berlin	Hamburg	Berlin: Hamburg
Bevölkerung (2003)	3 388,4	1 726,4	1,96
Fläche (km²)	890,85	755,2	1,18
Einwohner/km²	3 800	2 286	1,66
Arbeitslosenquote (30.06.2002)	18,9	10,2	1,85
Kraftfahrzeuge/1000 Ew. (2003)	421	556	0,76
Gemeindesteuer-einnahmen 2001 (netto)/Ew. (Euro)	718	1381	0,52

**M 3.39** *Berlin im Vergleich mit Hamburg*

Nach *http://www.agenda21berlin.de/fussabdruck/download/oef\_berlin\_abgeordnetenhaus.pdf*, (Dez. 2006) aktualisiert



## Die Stoffflussanalyse

Sie ist ein Verfahren, um die Güter- und Stoffflüsse zwischen der Anthroposphäre (der vom Menschen gestalteten Welt) und der natürlichen Umwelt zu erfassen. Die Analyse erfolgt dabei in mehreren Schritten und versucht die Prozesse und Lager (sie entstehen durch die Anhäufung von Gütern und Stoffen) und deren Veränderung mithilfe technisch-naturwissenschaftlicher Kriterien zu beschreiben. Der Ablauf ist folgender:

- Formulierung des Untersuchungsziels und der daraus resultierenden Fragestellungen.
- Erfassung des meist sehr komplexen Systems mit seinen räumlichen und zeitlichen Grenzen, den vorkommenden Gütern und Stoffen sowie ihren Verknüpfungen in Prozessen. So wird zum Beispiel das Vorkommen von Blei und Cadmium untersucht oder der Wasserhaushalt erfasst.
- Erstellen einer provisorischen Bilanz, welche als Basis für weitere, detailliertere Untersuchungen dient.
- Ermittlung der endgültigen Stoffbilanzen; dabei werden zunächst Bilanzen für einzelne Stoffe oder Güter ermittelt.
- Darstellung der Ergebnisse.

### M 3.40 Stoffflussanalyse der Stadt Wien

„Die Anthroposphäre Wiens (Infrastruktur, private und öffentliche Haushalte) wächst mit 1 % bis 3 % jährlich. Die nicht bebaute Fläche nimmt jährlich um 0,4 % ab, die pflanzliche Biomasse in den Wäldern Wiens um 0,7 % zu. In der Anthroposphäre werden Stoffe 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. Die Stickstoff- und Bleimengen im Boden inklusive Vegetation wachsen infolge der Ablagerung von Luftschadstoffen (vor allem trockene Deposition), aber auch der Aufbringung von Düngern mit 0,3 % (Stickstoff) und 0,1 % (Blei) jährlich. Das Kohlenstofflager im Boden inklusive Vegetation nimmt infolge des Zuwachs pflanzlicher Biomasse im Wald mit 0,3 % jährlich zu. Die größte Stoffanreicherung in Wien stellt der Zuwachs an

Stickstoff im Grundwasser dar (3,3 % jährlich). Die Hauptursache dafür ist der Stickstoffeintrag aus landwirtschaftlich genutzten Böden ...

Die Stadt Wien ist bei den betrachteten Ressourcen Energieträger, Trinkwasser und Verdünnungsvolumen für Abwässer vom Umland abhängig, der ‚Autarkiegrad‘ liegt somit < 100 %.

Er beträgt bei Energieträgern im Jahr 1993 6,4 % und stammt im Wesentlichen aus brennbaren Abfällen. Die Berechnung eines ‚Zukunfts-szenarios‘ zeigt, dass beispielsweise eine verstärkte Nutzung von Holz des Wienerwaldes den Autarkiegrad für Energieträger nur wenig steigern könnte (+0,1 %). Würde jedoch die in Wien vorhandene Ressource ‚Solarstrahlung‘ genutzt, und würde eine Einsparung des Energieverbrauches um rd. 2,5 % erfolgen, könnte der Autarkiegrad auf rund 34 % erhöht werden. Damit könnte eine Einsparung der Kohlendioxidemissionen um 3,3 Mio. t CO<sub>2</sub> jährlich, das sind 37 % der derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen Wiens, erzielt werden. Auch bei Wasser ist Wien vom Umland abhängig. Nur rund 17 % des im Jahr 1991 gebrauchten Wassers stammen aus eigener Förderung (Grundwasser), der Rest wird importiert. Die größte Abhängigkeit 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, die in die Donau gelangen, bis unter den Grenzwert zu verdünnen.“

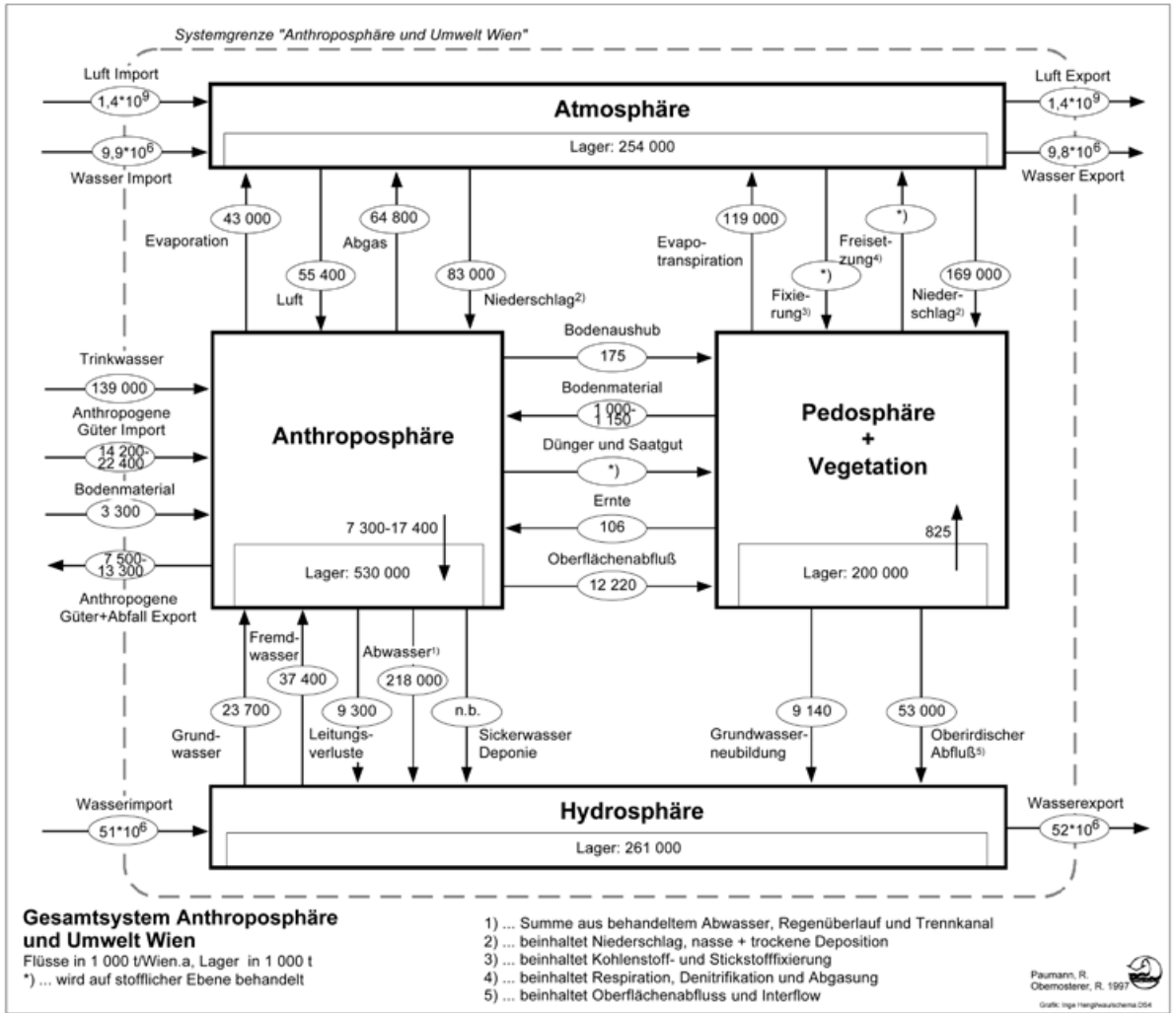
*Renate Paumann/Richard Obermosterer/Paul H. Brunner : Wechselwirkung zwischen anthropogenem und natürlichem Stoffhaushalt der Stadt Wien am Beispiel von Kohlenstoff, Stickstoff und Blei. Wien 1997, S. 1–2*

Die Ergebnisse der Analyse werden in Flussdiagrammen dargestellt.

Ein Beispiel aus dem Gesamtsystem: Vom Gesamtniederschlag von 252 Mio. t der Stadt Wien (Anthroposphäre 83 Mio. t und Pedosphäre/Vegetation 169 Mio. t) verdunsten 64 % und nur 9,14 Mio. t oder 3,6 % tragen zur Grundwasserneubildung bei. Das entspricht ungefähr der Menge, die durch undichte Wasserrohre verloren geht.

M 3.41 Stoffflüsse im Gesamtsystem Anthroposphäre und Umwelt Wien 1997

Ebenda, S. 61



Sowohl die Stoffflussanalyse als auch das Konzept des ökologischen Fußabdrucks liefern Kriterien zur Reduktion des Flächenverbrauchs und zum sparsamen Umgang mit knappen Ressourcen. Es lassen sich damit Szenarien errechnen, die zeigen, wie und wo der Flächenverbrauch und Ressourcenbedarf verringert werden kann. Damit können Leitziele, wie z. B.: „Die Bewohner Berlins sollen bis zum Jahr 2015 ihren ökologischen Fußabdruck um mindestens 15 % reduzieren!“, auf objektiverer Grundlage formuliert und quantifiziert werden.

3.17 Berechnen Sie Ihren ökologischen Fußabdruck, z. B. mithilfe der Internetseite <http://www.myfootprint.org>

3.18 Nennen Sie mögliche Gründe, weshalb der ökologische Fußabdruck Berlins kleiner als der Hamburgs ist.

3.19 Beschreiben Sie für das System „Anthroposphäre“ der Stadt Wien den Wasserfluss.

3.20 Stellen Sie in einem „Stoffflussschema“ dar, wie Ihre Schulstadt oder Heimatgemeinde mit Wasser versorgt und wie das Abwasser entsorgt wird. Stellen Sie Ihr Schema im Kurs zur Diskussion.

## 2 Ökosystem Großstadt: Beispiel Brüssel

Die quantitative Analyse der Stoff- und Energieflüsse in urbanen Ökosystemen gehört zu den komplexesten Aufgaben der Geoökologie. Sie wurde daher bislang auch nur für sehr wenige Fallbeispiele durchgeführt.

Das Ergebnis für Brüssel gibt M4 wieder. In der Abbildung sind zur Vereinfachung drei Teilaspekte getrennt voneinander dargestellt:

- a) die Stoffflüsse,
- b) die Energiebilanz und
- c) die Wasserbilanz.

Was erreichen Sie durch die Bearbeitung des Fallbeispiels Brüssel?

Es wird Ihnen möglich, die ökologische Bedeutung von Städten einzuschätzen (siehe dazu auch S. 293 „Stadtökologie“).

Die Berechnung von übertragbaren Angaben (z. B. Energie- und Wasserverbrauch pro Einwohner) ermöglicht Vergleiche mit anderen urbanen Ökosystemen.

Die Auswertung der Daten gibt Hinweise für die Optimierung von städtebaulichen Planungen, deren Realisierung Sie in Ihrer eigenen Stadt überprüfen können.

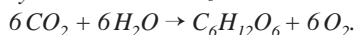
Sie können einzelne Aspekte/Fragestellungen auf Ihre eigene Stadt übertragen und u. U. in Ansätzen selbst quantitativ bearbeiten.

Sie üben den Umgang mit quantitativen Angaben, wie er in vielen Bereichen der Geographie notwendig ist.

*1. Berechnen Sie die durchschnittliche Nahrungsmenge, die für jeden Einwohner täglich in das Ökosystem importiert werden muss.*

*2. Überprüfen Sie, ob das „Frischgewicht“ der Menschen in Brüssel einen plausiblen Wert ergibt.*

*3. Analysieren Sie die Stoffflüsse. Dazu benötigen Sie die Kenntnis der Brutto-Umsätze bei der Photosynthese der Produzenten in einem Ökosystem:*



*Das entspricht z. B. folgenden Mengen:*

*246 g Kohlenstoffdioxid + 108 g Wasser reagieren zu 180 g Traubenzucker und 192 g Sauerstoff*

*oder  $138 \times 10^3$  t Kohlenstoffdioxid und  $56 \times 10^3$  t Wasser reagieren zu  $94 \times 10^3$  t Traubenzucker und  $100 \times 10^3$  t Sauerstoff.*

*4. Informieren Sie sich über die Auswirkungen der Emission von Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden und Blei auf Organismen und andere Ökosysteme.*

*5. Welche Schlussfolgerungen sind für die Bauleitplanung in einer Stadt aus Ihrer Berechnung der Sauerstoffbilanz zu ziehen?*

*6. Berechnen Sie die Menge der festen Abfälle, die rechnerisch auf jeden Einwohner entfällt. Vergleichen Sie diese Angaben mit denen aus Ihrem Heimatort heute (die Werte für Brüssel wurden etwa 1975 erhoben).*

*7. Verfolgen und erläutern Sie die Entstehung der Gesamtenergiebilanz von  $+ 89 \times 10^{12}$  kcal. Welche Konsequenzen hat diese Bilanz für das Klima in einer Großstadt? Belegen Sie Ihre Überlegungen mithilfe von Angaben in M 22, S. 293.*

*8. Welche Schlussfolgerungen sind für die Bauleitplanung in einer Stadt aus der Analyse der Energiebilanz zu ziehen?*

*9. Berechnen Sie, ob die Gesamtmenge des Niederschlages auf das Stadtgebiet von Brüssel einen plausiblen Wert für die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge (in mm) ergibt.*

*10. Ermitteln Sie die Wassermenge, die rechnerisch von jedem Einwohner pro Tag verbraucht wird, und vergleichen Sie diesen Wert mit dem Ihres Heimatortes.*

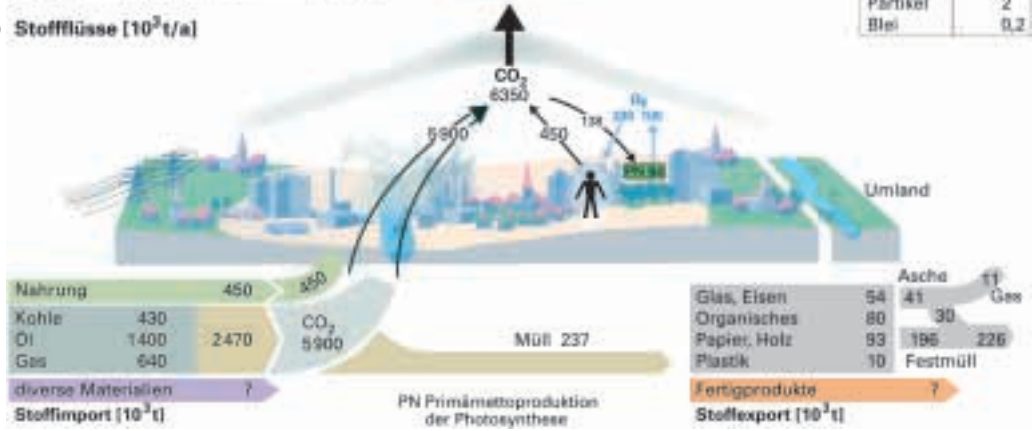
*11. Klären Sie für Ihren Heimatort, ob Regenwasser und Abwasser getrennt voneinander in das Klärwerk/den Vorfluter geleitet werden oder in gemeinsamen Kanälen (Mischkanalisation). Diskutieren Sie Vor- und Nachteile beider Verfahren.*

*12. Als „ökologischer Fußabdruck“ wird diejenige Fläche bezeichnet, die notwendig ist, um den Bedarf einer Stadt an Nahrung, Energierohstoffen, Wasser etc. zu decken sowie mit ihrem Vegetationsbestand das in Städten emittierte  $\text{CO}_2$  zu binden. Vergleichen Sie die Größe des „ökologischen Fußabdruckes“ von Städten in verschiedenen Regionen der Erde sowie zu verschiedenen Zeiten der Stadtgeschichte.*

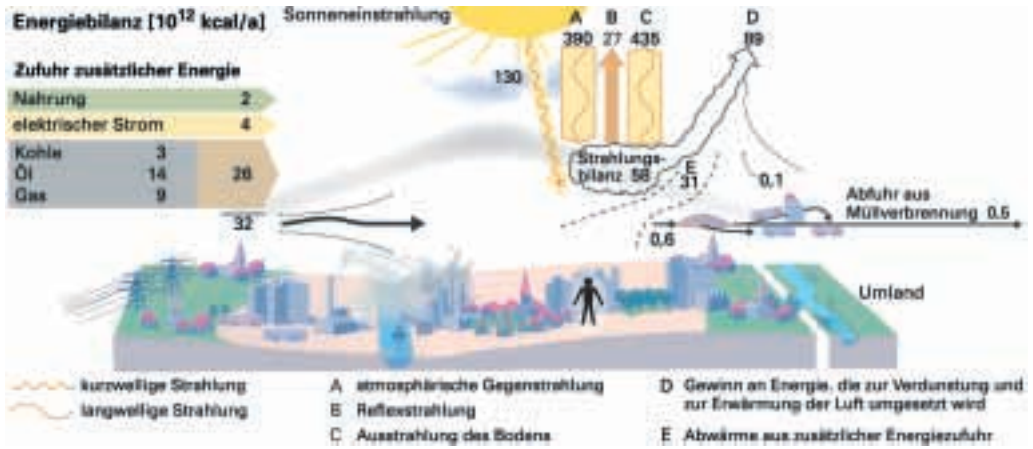
M 4 Ökosystem Brüssel, Fläche 16 178 ha



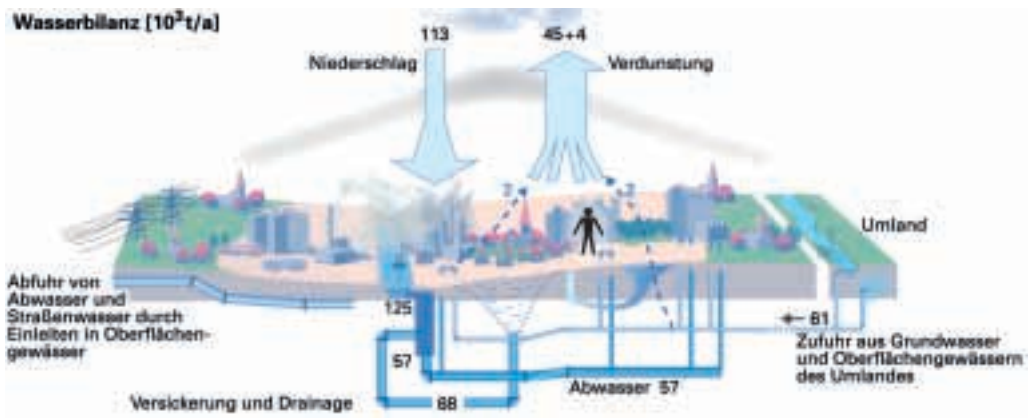
a) Stoffflüsse [10<sup>3</sup>t/a]



b) Energiebilanz [10<sup>12</sup> kcal/a]



c) Wasserbilanz [10<sup>3</sup>t/a]



Alle drei Abbildungen nach Joachim Knoll: Stadtökologie. In: Unterricht Biologie. 1989, H. 143, S. 5. Quelle: P. Duvigneaud und S. Denaeyer-de Smet: P. Duvigneaud und S. Denaeyer-de Smet: L'Ecosystème urbain bruxellois. In: P. Duvigneaud und P. Kestemont: Productivité biologique en Belgique. Gembloux 1977. Seite 581–599