



Initiative zur Förderung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

Ressourcen Management Agentur

Der ökologische Fußabdruck der Stadt Wien

(Projekt Footprint)

Endbericht



Initiative zur Förderung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

Ressourcen Management Agentur

Der ökologische Fußabdruck der Stadt Wien (Projekt Footprint)

Endbericht

(Vers. 3.05)

**Hans Daxbeck
Albena Kisliakova
Richard Obernosterer**

Im Auftrag der Magistratabteilung 22 –
Umweltschutz der Stadt Wien

Wien, Mai 2001

Projektleitung:

Hans Daxbeck

Projektsachbearbeitung:

Hans Daxbeck, Albena Kisliakova, Richard Obernosterer

Grafische Gestaltung und Layout:

Albena Kisliakova, Hans Daxbeck

Impressum:

Ressourcen Management Agentur (RMA)

Initiative zur Förderung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

Argentinerstrasse 48/2

A-1040 Wien

Tel./Fax: +43 1/913 22 52

Email: rm.agentur@eudoramail.com

Danksagung

Zur Erstellung der vorliegenden Studie wurden die Autoren von mehreren Personen unterstützt, ohne deren Hilfe diese Qualität der Arbeit nicht erreicht worden wäre. Ein herzliches Dankeschön ergeht daher an (in alphabetischer Reihenfolge):

- J. Dictus, MA 22, Wien
- M. Hakanen, Association of Finnish Local and Regional Authorities, Finland
- C. Hendriks, Canberra, Australien
- G. Janak, MA 22, Wien
- J. Juffermans, De Kleine Aarde, Niederlande
- E. Krause, City of Toronto, Kanada
- C. Lampert, RMA - Wien
- S. Neumayer, RMA - Wien
- A. Rohatsch, Institut für Geologie, TU Wien
- R. Smutny, RMA - Wien

Summary

Our current rate of resource consumption far exceeds the rate at which natural ecosystems can regenerate. In order to meet the needs of our current standard of living without harming the capacity of future generations also to do so, new resource management strategies are required. One important task of contemporary environmental science is therefore to develop suitable indicators to characterise and measure the impact of resource consumption. Such indicators can be used both to ensure that resources are utilised in an optimal and sustainable manner and to monitor the environmental impacts of consumption.

One of the most well known indicators of human resource consumption, and more broadly sustainability, is the Ecological Footprint (EF), developed by M. Wackernagel and W. Rees. The Ecological Footprint represents the entire resource consumption of a region, expressed as an area. The materials and energy required for a region are translated into two types of areas: 1. The area required for material resources and goods, and 2. The area required for consumed energy and embodied energy in net imported goods. The Ecological Footprint “translates” the energy and goods consumed by humans in a region into the area of land (and water) that would be required to supply and dispose of energy and goods. This method has been used world wide to estimate the Ecological Footprint of cities, urban regions as well as nations, including Austria.

The goal of this project is to estimate and characterise the Ecological Footprint of the City of Vienna. The “theoretical” area describing the resource consumption of the city is that area required to satisfy and maintain the Viennese population’s social and economic standard of living.

Furthermore the project compares the Ecological Footprint of Vienna with the footprints of other large cities and regions round the world (such as London, The Hague, Santiago de Chile, Malmö, Kuopio and Toronto) and as well as with the footprint of Austria. The Ecological Footprint calculated for Vienna is also evaluated against the ideal sustainable footprint.

This study is divided into two parts.

In the first part, an Ecological Footprint of Vienna is estimated strictly according to the original method by [Wackernagel & Rees, 1996]. This value amounts to 3.9 ha/cap. To a large extent the same data categories and calculation base are applied as that used in other studies, including that for Austria. By using a method similar to that used in previous studies comparisons can be made with other cities and regions and methodological problems can be localised. The opportunities and limitations of the current methodological approach are identified and solutions to these sought, particularly given that existing Ecological Footprints studies are difficult to compare.

In the second part of the study, a modified Ecological Footprint of Vienna is calculated based on a number of theoretical assumptions. Further methodological developments relate to data collection, consideration of waste management as well as the energy component of the footprint. The modified Ecological Footprint is no longer based on a standardised consumption but on a list of goods, which considers the specific consumption of Vienna. Furthermore, voluminous resources such as gravel (for the construction industry) and mineral oil (for production of chemicals and plastics) as well as both landfilled waste and waste management by-products (e.g. incineration slag) are also considered. Consideration is given to these two components (voluminous resources and waste management) by **defining and introducing**

a new parameter of the footprint, namely the depth of the Ecological Footprint, and by linking the original footprint method to the most important aspects of the waste management. Adapting the method in this way provides the first step towards the future introduction of area reduction coefficients. These coefficients, analogous to the yield coefficients in production processes, would depict the actual land losses and thus the additional area of land and sea required as a result of soil, water and air contamination from waste management.

The calculation of energy resources is based on the energy consumption as solar energy units. This allows for a more precise translation of energy into land area than by using carbon dioxide units. Further, the embodied energy concept is abandoned, since the data required to calculate the energy rucksacks of the net import goods is insufficient for the City of Vienna.

The value estimated using this procedure results in the modified Ecological Footprint of Vienna, which consists of four components – direct area, energy area, voluminous resources and a contribution to the global warming potential (GWP). This approach allows for a differentiated footprint whose value corresponds more closely to the actual resource consumption of Vienna. At the same time the approach retains the key concept of the original method to represent the entire consumption of the city as an area. **The modified Ecological Footprint of Vienna amounts to 3.1 ha/cap for the reference year 1997, with a depth of 0.0003 m/ha_{EF}.cap and an annual contribution to the global warming potential of 3.61 t CO₂/cap.** The modified Ecological Footprint Vienna exceeds the World Sustainability Limit of 1.7 ha/cap as defined by [Wackernagel & Rees, 1996] by 45 %. Vienna's modified footprint value is comparable with other European and American cities such as Toronto, London, Santiago de Chile or Kuopio only with respect to the categories arable land, pastures, forest, built-up area and sea area.

This study reveals a number of key findings, which can be classified into two groups: those relating to the database and those to the methodological background of the Ecological Footprint. High quality data sets on provincial level prove to be a crucial factor in the estimation of a region's true footprint value. Data should also correspond to the actual consumption conditions in the city, and not fitted to a unified list of goods. Equally important, as shown in the Vienna case study, the Ecological Footprint method must be expanded and adapted to more accurately reflect the resource consumption of a region. Such methodological advancements would also improve the comparability of different studies.

- According to both the original and modified footprint method, the crucial measures that would enable Vienna to reduce its ecological footprint should focus on the energy sector as well as on the use of pastoral and arable lands.
- It is recommended that the City of Vienna to participate in the programme „Towards a Local Sustainability Profile - European Common Indicators“.
- It is recommended that the City of Vienna identify the most suitable sustainability indicators for its needs, amongst the many available. If the Ecological Footprint should be one of them, then the method should be developed into a tool, which standardises both data collection and comparability.
- To address data inadequacies, it is recommended that the City of Vienna work with statistical authorities to ensure that consumption data is collected on a provincial level.
- All goods consumed in Vienna have an ecological rucksack. The City of Vienna, as an important consumer, should take these rucksacks into account, when preparing its trade strategy. For example, through the “ÖkoKauf Projekt“ (“Eco Trade Project”).

Summary

- The Ecological Footprint is a clear and understandable indicator for sustainable development. Thus it should be introduced into activities with schools and the general public, as well as into Local Agenda 21 processes.

Kurzfassung

Das heutige Tempo des menschlichen Ressourcenverbrauchs überschreitet die Erneuerungsraten der natürlichen Ökosysteme bei weitem. Um die Bedürfnisse, die mit der Aufrechterhaltung eines modernen Lebensstandards verbunden sind, zu befriedigen, ohne die zukünftigen Generationen in ihrem Recht auf verfügbare Ressourcen dabei zu benachteiligen, wird nach neuen Wegen für ein Ressourcenmanagement gesucht. Eine wichtige Aufgaben der heutigen angewandten Umweltwissenschaften besteht folglich darin, geeignete Indikatoren zur Charakterisierung des Ressourcenkonsums zu entwickeln, um ihre optimale und nachhaltige Nutzung zu gewährleisten sowie die Umweltauswirkungen dieses Konsums zu erfassen.

Als einer der bekanntesten Indikatoren des menschlichen Ressourcenkonsums und als Maß für die Nachhaltigkeit des Menschen gilt der Ökologische Fußabdruck. Er wurde 1996 von M. Wackernagel und W. Rees entwickelt. Der Ökologische Fußabdruck stellt den in Fläche „übersetzten“ gesamten Ressourcenkonsum einer bestimmten Region dar. Dabei besteht der Fußabdruck aus zwei Flächenkomponenten: 1. den materiellen Ressourcen und Gütern, und 2. dem Energieverbrauch und der in den nettoimportierten Gütern eingebauten Energie. Mit Hilfe des Ökologischen Fußabdruckes wird der anthropogene Konsum von Energie und Gütern einer Region bestimmt und in jene Wasser- und Landflächen umgerechnet, die für Versorgung mit Gütern und Rohstoffen und für die Entsorgung der Abfälle benötigt werden. Diese Methodik wird weltweit zur Ermittlung der Ökologischen Fußabdrücke von Ländern, Städten und urbanen Regionen angewendet, darunter auch den von Österreich.

Das Ziel dieses Projektes ist es, den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien zu bestimmen und zu charakterisieren. Es wird jener „theoretische“ Flächenverbrauch ermittelt, den die Wiener Bevölkerung für die Befriedigung ihrer Bedürfnisse und die Aufrechterhaltung ihres sozialen und wirtschaftlichen Lebensstands benötigt.

Weiters wird er den Ökologischen Fußabdrücken anderer Städte bzw. Regionen (jenen von London, Den Haag, Santiago de Chile, Malmö, Kuopio und Toronto), dem Fußabdruck von Österreich und einem idealen nachhaltigen SOLL-Fußabdruck gegenübergestellt.

Diese Studie ist in zwei Teile gegliedert.

Im ersten Teil wird der Ökologische Fußabdruck von Wien streng nach der Methodik von [Wackernagel & Rees, 1996] bestimmt. Dieser Wert beträgt 3,9 ha/E.a. Es werden weitgehend dieselben Datenkategorien und Berechnungsgrundlagen berücksichtigt, die auch für die Ermittlung der Ökologischen Fußabdrücke anderer Großstädte und von Österreich benutzt worden sind. Dadurch können einerseits die Fußabdrücke anderer Städte jenem von Wien gegenübergestellt werden, und andererseits werden methodische Problemstellen lokalisiert. Es werden die Möglichkeiten und Grenzen der Methodik in ihrem jetzigen Entwicklungsstadium identifiziert, und es wird nach Lösungswegen gesucht, da die Fußabdrücke der einzelnen Städte gegenwärtig nur bedingt miteinander vergleichbar sind.

Im zweiten Teil dieser Studie wird, ausgehend von eigenen theoretischen Ansätzen, ein modifizierter Ökologischer Fußabdruck der Stadt Wien berechnet. Die Weiterentwicklung der Methode betrifft die Datenerfassung, die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft und die Energiekomponente des Fußabdruckes. Der modifizierte Ökologische Fußabdruck von Wien basiert nicht mehr auf einem standardisierten Verbrauch, sondern auf einer an den Wiener Konsumverhältnissen angepassten Güterliste. Weiters wird den volumetrischen Ressourcen

(Gestein, Erdöl), den deponierten Abfällen und den Müllbehandlungsrückständen Rechnung getragen. Die Berücksichtigung dieser beiden Komponenten erfolgt durch **Definition und Einführung eines neuen Parameters des Fußabdrucks, nämlich der Fußabdrucktiefe**. Dies stellt einen ersten Schritt für die zukünftige Einführung von Flächenreduktionskoeffizienten dar, welche – analog den Ertragskoeffizienten bei der Produktion – die tatsächlichen Flächenverluste und daher den zusätzlichen Flächenverbrauch aufgrund der Kontamination von Boden, Wasser und Luft durch die Abfallwirtschaft widerspiegeln sollen.

Die Erfassung der Ressource Energie erfolgt in Form von Solarenergieeinheiten und geht damit über eine ausschließliche Umrechnung in Kohlendioxideinheiten hinaus. Es wird auf das in der Originalmethodik verwendete Konzept der inkorporierten Energie verzichtet, da die energetischen Rucksäcke der nettoimportierten Güter aufgrund der Datenstruktur im Bundesland Wien nur unzureichend erfasst werden können.

Der so berechnete Wert ergibt den Modifizierten Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien und besteht aus vier Komponenten – Fläche, Energiefläche, volumetrische Ressourcen und Beitrag zum Globalerwärmungspotential. Diese Vorgehensweise erlaubt es, einen differenzierten Fußabdruck zu berechnen, dessen Wert damit besser den tatsächlichen Verhältnissen von Wien entspricht. Dabei wurde versucht bei jedem dieser neuen methodischen Beiträge die Idee des Ökologischen Fußabdruckes beibehalten, d.h. der Konsum der Stadt wird schlussendlich als Flächenkonsum ausgedrückt. **Der Modifizierte Fußabdruck von Wien für das Bezugsjahr 1997 beträgt 3,1 ha/E, hat eine Tiefe von 0,0003 m/ha_{EF}.E und ist mit einem jährlichen Beitrag zum Globalerwärmungspotential von 3,61 t CO₂/E belastet.** Durch ihren Flächenkonsum übersteigt die Stadt Wien den von [Wackernagel & Rees, 1996] definierten SOLL-Wert von 1,7 ha/E um 45 % und ist nur mehr in den Kategorien Ackerland, Weiden, Wald, Bebaute Fläche und Meeresfläche mit den anderen europäischen und amerikanischen Städten, wie Toronto, London, Santiago de Chile oder Kuopio, vergleichbar.

Die wichtigsten Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen aus dieser Studie beziehen sich auf zwei Themenkreise: die Datenlage und den methodischen Hintergrund. Datensätze hoher Qualität auf Bundeslandebene erweisen sich als eine der wichtigsten Bedingungen für die Ermittlung eines realistischen Fußabdruckwertes. Diese sollen zudem auch dem tatsächlichen Konsum der Stadt entsprechen. Ebenso notwendig ist die Weiterentwicklung der verwendeten Methodik, die, wie in der Fallstudie Wien gezeigt, ausgebaut und ergänzt werden muss, um den eine realitätsnähere Abbildung des menschlichen Konsums darstellen zu können, aber auch um eine bessere Vergleichbarkeit zu anderen Städten herzustellen.

- Die entscheidenden Maßnahmen, die zu einer Reduktion des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien führen würden, liegen bei der Originalmethodik und bei der Modifizierten Methodik im Energiesektor und in der Nutzung des Weiden- und Ackerlandes.
- Der Stadt Wien wird empfohlen, am Programm „Towards a Local Sustainability Profile - European Common Indicators“ teilzunehmen.
- Der Stadt Wien wird empfohlen, sich zukünftig mit der Frage auseinanderzusetzen, welche der vielen möglichen Nachhaltigkeitsindikatoren für die Stadt die Aussagekräftigsten sind. Wenn sich die Stadt Wien entscheidet, den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien als einen Indikator einzusetzen, dann sollte aus der Methodik ein „Tool“ entwickelt werden, damit sowohl die Datenerfassung standardisiert wird als auch die Vergleichbarkeit gegeben ist.

-
- Aufgrund der unzureichenden Datenlage wird der Stadt Wien empfohlen, auf das ÖSTAT einzuwirken, den Konsum auch auf Bundesländerebene zu erheben.
 - Alle in Wien konsumierten Produkte haben einen ökologischen Rucksack. Der Magistrat der Stadt Wien als wichtiger Konsument sollte beim Einkauf seiner Produkte diese Rucksäcke berücksichtigen. Dies könnte beispielsweise im „ÖkoKauf Projekt“ erfolgen.
 - Der Ökologische Fußabdruck ist ein einfacher und klar verständlicher Indikator für Nachhaltigkeit. Er sollte zukünftig in Schulen, bei der Öffentlichkeitsarbeit und bei Lokale Agenda 21 Prozessen eingesetzt werden.

Abkürzungsverzeichnis

ATS	Österreichischer Schilling
ATS/t	Schillinge pro Tonne
cap	Einwohner
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
E	Einwohner
D _{EF}	Tiefe des Ökologischen Fußabdruckes
EF	Ecological Footprint
FCKW	Abkürzung für Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GWP	Global Warming Potential
GJ	Gigajoule; Joule ist eine Maßeinheit für die Energie, Giga=10 ⁹
GJ/E	Gigajoule pro Einwohner
GJ/E.a	Gigajoule pro Einwohner und Jahr
GJ/ha	Gigajoule pro Hektar
GJ/ha.a	Gigajoule pro Hektar und Jahr
GJ/t	Gigajoule pro Tonne
gWh	Gigawattstunde
ha	Hektar, 10.000 m ²
ha/cap	ha/Einwohner
ha/E	ha/Einwohner
ha/cap.a	ha/Einwohner und Jahr
ha/E.a	ha/Einwohner und Jahr
ha Wald/E	ha Wald pro Einwohner
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
KRE	klimarelevante Emissionen
KRE/E	klimarelevante Emissionen pro Einwohner
kWh	Kilowattstunde, Einheit der Energie, 1 kWh = 3,6 Megajoule (MJ)
m ³	Kubikmeter
m ³ .a	Kubikmeter pro Jahr
m ³ /E	Kubikmeter pro Einwohner
m ³ /E.a	Kubikmeter pro Einwohner und Jahr
MIPS	Materialintensität per Service Einheit
MJ	Megajoule; Joule ist eine Maßeinheit für die Energie, Mega=10 ⁶
Mio.	Million = 10 ⁶
Mio. m ³	Million Kubikmeter
Mrd.	Milliarde = 10 ⁹
m/ha _{EF} .a	Fußabdrucktiefe (D _{EF}) in Meter pro ha Fußabdruck und Jahr
m/ha _{EF} .cap	Fußabdrucktiefe (D _{EF}) in Meter pro ha Fußabdruck und Einwohner
m/ha _{EF} .E	Fußabdrucktiefe (D _{EF}) in Meter pro ha Fußabdruck und Einwohner
N ₂ O	Lachgas
PJ	Petajoule; Joule ist eine Maßeinheit für die Energie, Peta=10 ¹⁵
SPI	Sustainable Process Index
t	Tonne
t/a	Tonnen pro Jahr
t C/ha	Tonnen Kohlenstoff pro Hektar (Wald)
t CO ₂ /a	Tonnen CO ₂ pro Jahr
t CO ₂ /a	Tonnen CO ₂ pro Jahr
t CO ₂ abs./ha	Tonnen CO ₂ Absorption pro Hektar (Wald)

t CO ₂ /ha	Tonnen CO ₂ pro Hektar (Wald)
t CO ₂ /E	Tonnen CO ₂ pro Einwohner
t CO ₂ /E.a	Tonnen CO ₂ pro Einwohner und Jahr
t CO ₂ /TJ	Tonnen CO ₂ pro Terrajoule verbrauchter Energieträger
t CO ₂ -Äqu/a	Tonnen CO ₂ -Äquivalente pro Jahr
t CO ₂ -Äqu/ha	Tonnen CO ₂ -Äquivalente pro Hektar
t CO ₂ -Äqu/t	Tonnen CO ₂ -Äquivalente pro Tonne Abfall
t/m ³	Tonnen pro Kubikmeter
THG-Emissionen	Treibhausgasemissionen
TJ	Terrajoule, Joule ist eine Maßeinheit für die Energie, Terra=10 ¹²

Glossar

Absorptionskoeffizient: Mit Hilfe des **Absorptionskoeffizienten** werden die Energiekomponenten in Fußabdruckfläche umgerechnet. Der Koeffizient gibt an, wie viel Fläche Wald notwendig ist, um die jeweilige Energiekomponente (z.B. flüssige Brennstoffe) absorbieren zu können. Die Umrechnung und Darstellung des spezifischen Energieverbrauchs als Flächeneinheit basiert auf den globalen Energieintensitäts- (für die inkorporierte Energie) und CO₂-Absorptionskoeffizienten (für die Umrechnung der Energie in Fläche).

Biodiversität: Biodiversität stellt die Vielfalt des Lebens in allen Ausprägungsformen, Entwicklungsstufen und Verbindungen untereinander dar. Biodiversität umfasst die Vielfältigkeit von Ökosystemen, von Arten und des genetischen Erbmaterials.

Biomasse: Biomasse ist die Menge an lebender, organischer Substanz in einem Ökosystem. Die Angabe der Menge erfolgt meist in Trockensubstanz (TS).

CO₂-Äquivalent: Um den unterschiedlichen Beitrag von emittierten Gasen zum Treibhauseffekt beurteilen zu können, wird die Wirksamkeit aller Gase auf die Wirksamkeit von CO₂ bezogen. Das CO₂-Äquivalent (dargestellt in t CO₂) gibt die Größe jener Menge CO₂ an, die notwendig wäre, um den selben Treibhauseffekt zu erzielen, wie er durch die bestehenden Emissionen hervorgerufen wird.

Energieintensitätskoeffizient (Inkorporierte Energie): Die inkorporierte Energie stellt den indirekten Verbrauch von Energieträgern durch den Energiebedarf für Herstellung, Konsum und Entsorgung der konsumierten Güter dar.

Ertrags- /Äquivalenzkoeffizient: Der **Ertrags- /Äquivalenzkoeffizient** dient dazu, die unterschiedliche Produktivität der einzelnen Region darzustellen und damit vergleichbar zu machen. Mit Hilfe der Äquivalenzkoeffizienten werden die Fußabdruckkomponenten (z.B. Ackerfläche) nach ihrer Fähigkeit Biomasse zu produzieren, beurteilt und gewichtet. Als Basis werden weltweite Durchschnittswerte für die Produktivität benutzt, die um die Ertragswerte der jeweiligen Region (Stadt, Land) korrigiert werden. So bedeutet der Ertragskoeffizient für ein bestimmtes Gut von beispielsweise 1,8, dass die Produktivität der untersuchten Region für dieses Gut um 80 % höher als der Weltdurchschnitt ist.

Fußabdruckkomponenten: Der gesamte Ökologische Fußabdruck wird in sechs Komponenten Ackerland, Wald, Weiden, Meer, bebaute Fläche und Fläche für fossile Energie unterteilt. Die Aufteilung ist von den fünf Aktivitätsbereichen (Ernährung, Wohnen, Transport, Konsum und Dienstleistungen) abgeleitet und ordnet die konsumierten Güter und der verbrauchten Energie jener Komponente zu, die zur Herstellung des Gutes benötigt wird. Beispielsweise vergrößert der Konsum von Fleisch die Weidefläche, der Verbrauch von Fisch vergrößert Meeresfläche, der Verbrauch von Papier die Waldfläche. Für fossile Energie wird so viel Wald in Rechnung gestellt, wie zur Fixierung des entstehenden CO₂ benötigt wird.

Fußabdrucktiefe: Die Fußabdrucktiefe ergibt sich durch Division des Volumens aus Rohstoffabbau und Mülldeponierung mit der Fußabdruckfläche und hat die Dimension [m/ha_{EF}.E].

Giga: Giga steht für den Faktor „Milliarde“ od. 10^9 , z.B. 5 Gigajoule (GJ) bedeutet $5 \times 10^9 \text{ J} = 5.000.000.000 \text{ J}$.

Hektar (ha): ist ein Flächenmaß und entspricht der Fläche von 10.000 m^2 .

Inkorporierte Energie: Die inkorporierte Energie ist jene Energiemenge die über den gesamten Lebenszyklus (Aufbereitung, Produktion, Transport, Konsum und Entsorgung) eines Produktes benötigt wird.

Joule (J): Joule ist die physikalische Einheit für die Arbeit. 1 J entspricht jener Arbeit die geleistet werden muss um 1 kg 10 cm hoch zu heben. Joule wird auch für die Angabe von Wärmeenergie verwendet.

Kilo: Kilo steht für den Faktor „Tausend“ od. 10^3 , z.B. 3 Kilogramm (kg) bedeutet $3 \times 10^3 \text{ g} = 3.000 \text{ g}$

Konsum: Konsum wird definiert als: Konsum = Produktion + Import – Export. Daher stellt der Konsum einen Nettowert dar, welcher die tatsächlichen Exporte und Importe berücksichtigt. Der Konsum umfasst alle Güter und Dienstleistungen die von privaten Haushalten, der öffentlichen Verwaltung und Industrie und Gewerbe in Anspruch genommen werden.

Mega: Mega steht für den Faktor „Million“ od. 10^6 z.B. 1 Megajoule (MJ) bedeutet $1 \times 10^6 \text{ J} = 1.000.000 \text{ J}$

Nachhaltiger Fußabdruck: Bei der Errechnung dieses Wertes sind sowohl die dem Menschen zur Verfügung stehenden Festland- und Meeresflächen als auch die für die Erhaltung der Biodiversität benötigten Flächen berücksichtigt worden. Bei einem Erreichen dieses maximalen Wertes ist eine Lebensführung als ökologisch zu beurteilen. Bei seinem Überschreiten sind entweder die natürlichen Ökosysteme und Ressourcen und/oder die menschliche Existenz bei heutigem Lebensstandard mittel- und langfristig irreversibel gefährdet.

Nettoprimärproduktion: Ist jene Menge an pflanzlicher Energie oder Biomasse, die durch Photosynthese innerhalb eines Ökosystems während eines bestimmten Zeitraums angesammelt wurde. Dies ist auch jene Energie die man erhält, wenn die Atmung der Primärproduzenten (hauptsächlich Pflanzen) von der Gesamtmenge an biologisch gebundener (Solar)Energie abgezogen wird.

Ökologischer Fußabdruck: Mit Hilfe dieses Indikators wird versucht, den Naturverbrauch des Menschen zu berechnen und in Form von Naturflächen bildlich darzustellen. Mit Hilfe des Ökologischen Fußabdruckes wird der anthropogene Konsum von Energie und Gütern einer Stadt oder eines ganzen Landes bestimmt und in jene Wasser- und Landflächen umgerechnet, die für Versorgung mit Gütern und Rohstoffen und für die Entsorgung der Abfälle benötigt werden.

Peta: Peta steht für den Faktor 10^{15} z.B. 1 Petajoule (PJ) bedeutet $1 \times 10^{15} \text{ J}$

Photosynthese: Photosynthese bezeichnet den chemischen Prozess in chlorophylltragenden grünen Pflanzenzellen, bei dem aus den anorganischen Rohstoffen Wasser, CO_2 mit Hilfe des Sonnenlichts organische Zuckermoleküle aufgebaut werden.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	V
SUMMARY	VII
KURZFASSUNG	XI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XV
GLOSSAR	XVII
INHALTSVERZEICHNIS	I
1 EINLEITUNG	1
2 ZIELSETZUNG UND FRAGESTELLUNG	3
3 BERECHNUNG DES ÖKOLOGISCHEN FUßABDRUCKS DER STADT WIEN NACH DER ORIGINALMETHODIK.....	5
3.1 Methodik von M. Wackernagel und W. Rees zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdrucks	5
3.2 Untersuchte Güter	7
3.3 Datenerfassung	10
4 RESULTATE.....	11
4.1 Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien – IST	11
4.2 Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien – SOLL.....	12
4.3 Der Ökologische Fußabdruck anderer Städte und von Österreich.....	14
4.3.1 Vergleich des Fußabdrucks von Wien mit jenen anderer Städte.....	14
4.3.2 Vergleich von Wien mit Österreich.....	18
4.4 Diskussion der Datenlage.....	20
4.5 Diskussion der Methodik.....	21
5 MATHEMATISCHE UNTERSUCHUNG DER ORIGINALMETHODIK	27
5.1 Mathematisch-kombinatorische Analyse.....	27
5.2 Sensitivitätsanalyse des Fußabdrucks nach der Originalmethodik.....	30
6 MODIFIZIERTE BERECHNUNG DES ÖKOLOGISCHEN FUßABDRUCKS DER STADT WIEN	33
6.1 Modifizierte Methodik zur Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks von Wien	34
6.1.1 Datenerfassung der in Betracht gezogenen Güter	34
6.1.2 Erfassung von volumetrischen Ressourcen	36
6.1.3 Berücksichtigung der Abfallwirtschaft	37

6.1.4	<i>Energieerfassung im Modifizierten Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien</i>	39
6.1.5	<i>Übertragung landesspezifischer Koeffizienten auf den Konsum einer Stadt</i>	42
6.2	Resultate	42
6.2.1	<i>Erfassung der Güter</i>	42
6.2.2	<i>Volumetrischer Ressourcenverbrauch</i>	44
6.2.2.1	<i>Rohstoffvolumen (Bauindustrie und Kunststoffherzeugung)</i>	44
6.2.2.2	<i>Deponievolumen</i>	45
6.2.3	<i>Abfallwirtschaft</i>	48
6.2.3.1	<i>Luft</i>	48
6.2.3.2	<i>Boden</i>	51
6.2.3.3	<i>Wasser</i>	51
6.2.4	<i>Erfassung der Energie</i>	51
6.3	Zusammenfassung	56
6.3.1	<i>Der Modifizierte Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien</i>	56
6.3.2	<i>Fußabdruck (Flächenwert)</i>	58
6.3.3	<i>Fußabdrucktiefe (volumetrischer Indikator des Ökologischen Fußabdrucks)</i>	59
6.3.4	<i>Beitrag zum GWP</i>	59
6.3.5	<i>Vergleich mit dem SOLL-Wert und mit den Ökologischen Fußabdrücken der Vergleichsregionen</i>	59
6.3.5.1	<i>Vergleich mit dem SOLL-Wert</i>	60
6.3.5.2	<i>Vergleich mit den Ökologischen Fußabdrücken anderer Städte</i>	60
6.3.6	<i>Vergleich mit dem Ökologischen Fußabdruck von Österreich</i>	62
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	63
7.1	<i>Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien – IST - SOLL</i>	63
7.2	<i>Vergleich Wien mit anderen Städten und mit Österreich</i>	63
7.3	<i>Schlussfolgerungen zur Datenlage</i>	64
7.4	<i>Schlussfolgerungen zur Methodik</i>	64
7.5	<i>Handlungsempfehlungen der Autoren</i>	65
8	ZUSAMMENFASSUNG	67
8.1	<i>Zielsetzung</i>	67
8.2	<i>Methodisches Vorgehen</i>	68
8.3	<i>Ergebnisse</i>	68
8.4	<i>Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen der Autoren</i>	76
9	SUMMARY	79

9.1	Goal	79
9.2	Approach	79
9.3	Results	80
9.4	Conclusions and action recommendations of the Authors	88
10	LITERATURVERZEICHNIS	91
11	ANHANG	95

1 Einleitung

Die verschiedenen Ökosysteme der Erde, im einzelnen und insgesamt, sind nicht mehr in der Lage, mit dem Tempo des menschlichen Wachstums mitzuhalten. Dies zeigt sich beispielsweise in der Klimaerwärmung oder in der Schwermetallanreicherung der Böden. Der ständig steigende Ressourcenbedarf der anthropogenen Aktivitäten bedingt eine Umgestaltung des Umgangs mit der Umwelt. Die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft und die Erhaltung ihres Lebensstandards hängen neben anderen Faktoren entscheidend davon ab, wie sie mit ihren natürlichen Ressourcen umgeht, die sie für ihre Versorgung mit Nahrung, Energie und Rohstoffen benötigt, und wie sie die Entsorgung ihrer festen, gasförmigen und flüssigen Abfälle organisiert. Eine zukunftsfähige Entwicklung der Gesellschaft bedingt, dass die natürlichen Ressourcen nicht in einer höheren Rate genutzt werden, als sich diese erneuern. Dies ist gegenwärtig nicht der Fall. Zu einer weiteren Art von Umweltbelastungen, die sich zusätzlich verlängernd auf die Erneuerungsraten der natürlichen Ressourcen auswirken, können beispielsweise die Zerstörung der Ozonschicht und die beschleunigte Rodung der Wälder und Bodenerosion durch die menschlichen Aktivitäten genannt werden. Einen anderen wesentlichen Aspekt dazu stellen die Abfallflüsse in die Umwelt dar. Für sie gilt, dass sie nur jene Größe erreichen dürfen, in der sie auch von der Umwelt absorbiert werden können.

Es wurden in den letzten Jahren eine Reihe von Methoden entwickelt, um den Ressourcenverbrauch des Menschen zu erfassen (z.B. Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner, 1991]) und zu bewerten (z.B. Ökobilanz [Ahbe et al., 1990], MIPS Konzept [Schmidt-Bleek, 1994], Entropieansatz [Ayres, 1994], SPI Konzept [Krotscheck, 1995] und das Konzept des Ökologischen Fußabdrucks [Rees & Wackernagel, 1994]). Der ökologische Fußabdruck und der Sustainable Process Index (SPI) wurden gleichzeitig und von einander unabhängig in Kanada und in Österreich entwickelt. Beiden Methoden ist gemeinsam, dass ein Indikator entwickelt wurde, der in einer Umrechnung des Ressourcenverbrauchs in Fläche mündet, wobei der SPI ursprünglich für die Bewertung von Prozessen konzipiert wurde. In dieser Studie wird die Methode des Ökologischen Fußabdruckes als Indikator zur Darstellung des Ressourcenverbrauchs der Stadt Wien verwendet.

Um das Ausmaß des Einflusses, den die Befriedigung der menschlichen Bedürfnisse unter bestimmten Lebensbedingungen auf den Verbrauch der natürlichen Ressourcen ausübt, festzustellen und zu kategorisieren, hat die Arbeitsgruppe für Gesunde und Nachhaltige Gemeinden an der Universität von British-Kolumbien, Kanada, ein Instrument für die Buchhaltung von ökologischen Ressourcen entwickelt – den Ökologischen Fußabdruck (Ecological Footprint) [Wackernagel & Rees, 1996]. Er ist ein Indikator für den Umgang einer bestimmten Gesellschaft mit beschränkten Ressourcen. Es wird versucht, den Naturverbrauch des Menschen zu berechnen und in Form von Naturflächen bildlich darzustellen. Mit Hilfe des Ökologischen Fußabdruckes wird der anthropogene Konsum von Energie und Gütern einer Stadt oder eines ganzen Landes bestimmt und in jene Wasser- und Landflächen umgerechnet, die für Versorgung mit Gütern und Rohstoffen und für die Entsorgung der Abfälle benötigt werden.

Zu den Meilensteinen für die Anwendung dieser Methodik gehören einerseits eine Reihe von Studien zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdruckes einzelner Großstädte (Den Haag, London, Toronto, etc.) sowie der 1997 veröffentlichte internationale Bericht „*Ecological Footprints of Nations*“, in dem die Ökologischen Fußabdrücke von 52 Ländern, in denen 80 % der Weltbevölkerung leben, ermittelt und miteinander verglichen wurden. Zu

berücksichtigen ist jedoch, dass der Ökologische Fußabdruck eines Landes eine Durchschnittsgröße darstellt, und damit lokale städtische Besonderheiten unzureichend berücksichtigt werden. Daher ist zusätzlich die systematische Erfassung individueller Fußabdrücke vor allem von größeren Städten notwendig.

Gegenwärtig wird die Methodik des Ökologischen Fußabdruckes von mehreren Gruppen (beispielsweise in Mexiko, Holland und in Österreich) weiterentwickelt, und gleichzeitig werden die bereits existierenden Ökologischen Fußabdrücke aktualisiert. Die noch ungenügend gelösten Fragen betreffen in erster Linie die zeitliche und qualitative Entwicklung der Ausnutzungs-/Ertragskoeffizienten, die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft und die korrektere Aufteilung der analysierten fossilen Energie. Die von Wackernagel verwendeten Durchschnittswerte für die Koeffizienten (sie werden zeitlich und in ihrer qualitativen Aussage als konstant angenommen) sowie eine Umrechnung der Energie ausschließlich in CO₂-Einheiten reichen für eine erste Aussage aus, sie sollten jedoch weiterentwickelt werden.

Um die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der anderen Städte zu gewährleisten, wird in der vorliegenden Studie zuerst die Originalmethodik angewendet. Trotzdem sind direkte Vergleiche mit den Fußabdrücken anderer Städte nur bedingt möglich, da jede einzelne Stadt auf eine unterschiedlich umfangreiche Datenbasis zurückgreifen kann. In dieser Phase der wissenschaftlichen Entwicklung der Methode bzw. der Aktualisierung der Fußabdrücke bietet die Bestimmung des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien eine gute Gelegenheit, neben dem vorrangigen Ziel der Berechnung des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien auch einen Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung dieses innovativen Bewertungsinstrumentes zu leisten. Die methodische Erweiterung wird dabei anhand einer modifizierten Berechnung des Ökologischen Fußabdruckes von Wien im zweiten Teil dieser Studie illustriert, d. h. diese Arbeit gliedert sich in die folgenden zwei Teile:

- I. Im ersten Teil der Studie wird der Ökologische Fußabdruck von Wien **abgeleitet von der Methodik von [Wackernagel & Rees, 1996]; [Wackernagel, 1994]; [Wackernagel et al., 1999b]; [Wackernagel et al., 1999a]** bestimmt.
- II. Im zweiten Teil der Arbeit wird **ein zweiter Wert des Ökologischen Fußabdruckes** von Wien **ausgehend von eigenen theoretischen Ansätzen** berechnet, die als methodischer Beitrag zur Originalmethodik entwickelt worden sind.

2 Zielsetzung und Fragestellung

Das Ziel dieses Projektes ist es, den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien zu bestimmen und zu charakterisieren. Es wird jener „theoretische“ Flächenverbrauch berechnet, den die Wiener Bevölkerung für die Befriedigung ihrer Bedürfnisse und die Aufrechterhaltung ihres sozialen und wirtschaftlichen Lebensstandards benötigt.

Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien wird auf seine Nachhaltigkeit im Hinblick auf den Soll-Wert von Wackernagel beurteilt. Weiters wird er den Ökologischen Fußabdrücken anderer, vergleichbarer Städte (beispielsweise jenen von London, Den Haag oder Toronto) gegenübergestellt.

Grundlage für diese Studie ist die von [Wackernagel & Rees, 1996] entwickelte Methode zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdruckes. Als wissenschaftliches Ziel ist ein Beitrag zur Weiterentwicklung der Methodik geplant, der die zeitliche Entwicklung der Ausnützung-/Ertragskoeffizienten und die Optimierung der Analyse der fossilen Energie als Schwerpunkte beinhaltet.

Die zu beantwortenden Fragestellungen lassen sich in drei Kategorien unterteilen:

I. Identifikations- und Erfassungsfragen:

Bei diesen Fragen steht die Datengrundlage im Hinblick auf ihre Verfügbarkeit und Eignung zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien im Vordergrund.

Konkret sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Welche Daten sind notwendig, um den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien zu berechnen?
2. Welche Daten zur Bestimmung des Fußabdruckes sind verfügbar, welche Daten fehlen, welche Datenlücken müssen und welche können geschlossen werden? Welche Alternativen bestehen, um unvollständige Datensätze zu ergänzen?

II. Bewertungsfragen:

Den Kern des Projektes bilden jene inhaltlichen Fragestellungen, die mit der Bewertung des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien in Verbindung stehen:

3. Wie groß ist der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien?
4. Welche Schlussfolgerungen können aus den Ergebnissen für die Stadt Wien gezogen werden?
 - bezüglich der Abweichung des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien von einem zukunftsfähigen, urbanen Ökologischen Fußabdruck einer Stadt gemäß der Definition von Rees und Wackernagel.
 - bezüglich eines Vergleiches des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien mit dem Ökologischen Fußabdruck von Österreich.
 - bezüglich eines Vergleiches des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien mit dem Ökologischen Fußabdruck von anderen Großstädten.

III. Fragen zur Methodik:

Bezüglich der Methodik sollen folgende Frage beantwortet werden:

5. Kann in diesem Projekt ein methodischer Beitrag zu den noch ungenügend gelösten Fragen betreffend zeitlicher und qualitativer Entwicklung der Ausnützungs-/Ertragskoeffizienten geleistet werden?
6. Kann die fossile Energie über eine Darstellung in CO₂-Einheiten hinaus, zusätzlich mit genaueren Parametern, dargestellt werden? Welcher rechnerische Aufwand und welche Daten sind notwendig?

3 Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks der Stadt Wien nach der Originalmethodik

In diesem Teil der Arbeit wird der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien nach der Originalmethodik von [Wackernagel & Rees, 1996] berechnet. Dieser Wert erlaubt, eine größenordnungsmäßige Orientierung für die Stellung von Wien im Vergleich zu anderen Städten und zu Österreich zu gewinnen sowie die Grenzen der Methodik in ihrem jetzigen Entwicklungsstadium zu identifizieren. Dieser Fußabdruck stellt die Ausgangsbasis dar, um nach Lösungswegen für die Ermittlung eines modifizierten Fußabdrucks zu suchen.

In den folgenden Kapiteln sind die Meilensteine der Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks von Wien zusammengefasst: die methodische Grundlage nach [Wackernagel & Rees, 1996], die Begründung für die Wahl der berücksichtigten Güter, die Datenerfassung und die Ergebnisse, der Vergleich des Fußabdrucks von Wien mit jenen anderer Großstädte und mit jenem von Österreich. Abschließend werden die Ergebnisse mit dem Ziel diskutiert, die Probleme der Anwendung der Methodik auf allen Ebenen (Datenerfassung, Ertragskoeffizienten, Abfall- und Energieerfassung) konkret am Beispiel von Wien zu verdeutlichen und mögliche Alternativen anzuzeigen. Parallel dazu erfolgt eine detaillierte Gegenüberstellung des Originalinstrumentes und der modifizierten Methodik. Miteingeschlossen ist eine Sensitivitätsuntersuchung und eine mathematische Analyse.

3.1 Methodik von M. Wackernagel und W. Rees zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdrucks

Theoretische Grundlage für die vorliegende Studie ist die von M. Wackernagel und W. Rees entwickelte Methodik zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdrucks [Wackernagel & Rees, 1996]. Dieses Gedankenmodell basiert darauf, dass eine Stadt (im weiteren Sinne eine Region, d.h. auch ein Staat) ein von der Außenwelt isoliertes System bildet, welches ihren Stoffwechsel durch eine begrenzte, unmittelbar um die Stadt liegende produktive Land- und Wasserfläche deckt. Diese produktive Gesamtfläche ist einerseits die Quelle für alle **konsumierten**¹ natürlichen Ressourcen und andererseits stellt sie die benötigte Aufnahmekapazität für die gasförmigen, flüssigen und festen Abfälle zur Verfügung. Weder Ressourcen noch Abfälle noch Emissionen werden über diese Flächengrenze weiter importiert oder exportiert. Es wird folglich nach der Größe dieser Gesamtfläche gesucht. Diese stellt den Ökologischen Fußabdruck der untersuchten Stadt dar.

Die produktive Fläche wird einer genaueren Unterteilung unterzogen [Wackernagel & Rees, 1996], und zwar in vier Kategorien gegliedert:

1. Fläche für Energiegewinnung: diese stellt jene Fläche dar, welche die Benutzung fossiler Energie benötigt;
2. Konsumierte Fläche: diese Fläche repräsentiert die bebaute Fläche;
3. Derzeit benutzte Fläche: hierzu wird die Fläche für Grünanlagen, Ackerland, Weiden und kontrollierten Waldanbau gezählt;

¹ Nach [Wackernagel & Rees, 1996] wird der Konsum definiert als $\text{Konsum} = \text{Produktion} + \text{Import} - \text{Export}$. Daher stellt der Konsum tatsächlich ein Nettowert dar, welcher die wahren Exporte und Importe berücksichtigt.

4. Begrenzt verfügbare Fläche: darunter werden die produktiven natürlichen Ökosysteme (unberührter Wald) und die nichtproduktiven Flächen (Wüsten, Berggipfel) verstanden.

Um den Metabolismus einer Stadt in Fläche ausdrücken zu können, werden Ressourcen, Energie, menschliche Aktivitäten und ihre Produkte, einschließlich Abfälle und Emissionen, in produktive Fläche „übersetzt“. Dies erfolgt mittels Ertrags- (z.B. für die Konsumgüter und Dienstleistungen) und Ausnutzungskoeffizienten (z.B. für die Absorption von Abfällen durch die Umwelt), und anschließend werden alle so berechneten produktiven Flächen ohne Gewichtung aufsummiert. Die Ertragskoeffizienten haben den Zweck, die unterschiedliche Produktivität der einzelnen Region hervorzuheben und damit vergleichbar zu machen. Als Basis werden weltweite Durchschnittswerte für die Produktivität benutzt, die um die Ertragswerte der jeweiligen Region (Stadt, Land) korrigiert werden. So bedeutet der Ertragskoeffizient für ein bestimmtes Gut von beispielsweise 1,8, dass die Produktivität der untersuchten Region für dieses Gut um 80 % höher als der Weltdurchschnitt ist. Dabei wird mit einem begrenzten Set von insgesamt ca. 100 Produkten resp. Gütern inkl. Energieträgern gearbeitet. Die gewählten Güter sind in der ersten Anwendung der Methodik in der Studie „Ecological Footprints of Nations“ [Wackernagel et al., 1999a] festgelegt worden und stellen eine allgemeine Basis dar, die den quantitativen Vergleich von Fußabdrücken verschiedener Nationen ermöglicht. Daher ist die Wahl der Güter weder gesellschafts- noch regionsspezifisch. Die Gebrauchsgüter (für den Konsum bestimmten Produkte und Erzeugnisse) werden zuerst auf materieller Ebene in Form der für ihren Anbau benötigte physische Fläche berücksichtigt. Sie werden weiter auch auf energetischer Ebene in Betracht gezogen, und zwar durch die für ihre Aufbereitung resp. Produktion, Transport und Konsum aufgebrauchte Energie. Diese Energie wurde von [Wackernagel & Rees, 1996] als inkorporierte Energie in die Energiebilanz der Region eingeführt.

Für die Abschätzung des Flächenbedarfs des gesamten Energieverbrauchs der untersuchten Region gehen die Autoren [Wackernagel & Rees, 1996] hauptsächlich von drei Alternativen aus. Der erste Ansatz besteht darin, den Energieverbrauch als jene Fläche darzustellen, die für die Herstellung eines derzeit verfügbaren, biologisch-basierten Substitutionstreibstoffes (z.B. Methanol) notwendig wäre. Der zweite Ansatz basiert auf der Tatsache, dass die Verwertung von fossilen Brennstoffen schlussendlich eine Benutzung von ehemaligen, heutzutage nicht mehr existierenden Ökosystemen darstellt (nach W. Catton, zitiert in [Wackernagel & Rees, 1996]; [Wackernagel et al., 1999a]). Daher gilt es, die Fläche jenes „Phantomlandes“ zu bestimmen, welche für die Bildung der heute benutzten fossilen Energieträger notwendig gewesen ist. Im dritten Ansatz wird der gesamte Energiekonsum als anfallendes CO₂ umgerechnet. Mittels der Absorptionskoeffizienten wird die für die Absorption des CO₂ benötigte Waldfläche ermittelt.

Im ersten Teil der vorliegenden Studie wird der dritte Ansatz verwendet, und zwar aus zwei Gründen: einerseits sind nicht mehr existierende Ökosysteme nur mit Vorbehalt abzuschätzen, andererseits werden Substitutionstreibstoffe in Wien praktisch noch nicht im großen Umfang eingesetzt. Letztendlich soll eine Vergleichbarkeit mit den anderen Referenzstädten, in denen das gleiche Vorgehen angewendet wurde, gewährleistet sein.

Unter der von Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] getroffenen Annahme einer wesentlichen Klimastabilität werden die Emissionen von Treibhausgasen bei allen drei Vorgehensweisen als Problem ausgeschlossen.

Theoretisch sollen die anfallenden Abfälle in ihrem ganzen Auswirkungsspektrum auf die Umwelt, d.h. als Energieverbrauch für ihre Entsorgung, Konsum und Transport sowie als

Emissionen, berücksichtigt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Abfälle direkt in Kohlendioxidemissionen umzurechnen, die durch Grünpflanzen (produktive Fläche) aufgenommen werden sollen. Die Alternative ist, die Abfälle aufgrund ihres Energiegehaltes, aufsummiert während ihres Konsums, Transport und Entsorgung, als eine zusätzliche Energiekomponente des Fußabdrucks auszudrücken. Diese zusätzliche Energiekomponente, gemeinsam mit dem restlichen Energiekonsum der untersuchten Region, widerspiegelt sich schlussendlich auch in produktiver Fläche, entsprechend dem dafür gewählten theoretischen Ansatz. Die Methode erlaubt es jedoch nicht, Aspekte wie Verdünnung oder Aufkonzentrierung von Schadstoffen eindeutig darzustellen.

Im ersten Teil dieser Studie werden die Abfälle durch die für ihren Transport und für ihre Entsorgung benötigten Treibstoffe berücksichtigt.

Die durch diese Verfahren ermittelten produktiven Flächen werden aufsummiert und anschließend in einem Pro-Kopf-Wert ausgedrückt. Multipliziert mit der Bevölkerungszahl der untersuchten Stadt resp. Region, ergibt dieser den Wert ihres Ökologischen Fußabdrucks. Die Referenz- bzw. Bewertungsbasis für einen anzustrebenden Fußabdruck stellt der von Wackernagel und Rees begründete maximal zulässige Fußabdruck mit einem Pro-Kopf-Wert von 1,7 ha/E [Wackernagel & Rees, 1996] dar, auf dessen Bestimmung in Kapitel 4.2 eingegangen wird. In der vorliegenden Studie gilt dieser Wert als SOLL-Zustand. Bei der Errechnung dieses Wertes sind sowohl die dem Menschen zur Verfügung stehenden Festland- und Meeresflächen als auch die für die Erhaltung der Biodiversität benötigten Flächen berücksichtigt worden. Bei einem Erreichen dieses maximalen Wertes ist eine Lebensführung als ökologisch zu beurteilen. Bei seinem Überschreiten sind entweder die natürlichen Ökosysteme und Ressourcen und/oder die menschliche Existenz bei heutigem Lebensstandard mittel- und langfristig irreversibel gefährdet.

3.2 Untersuchte Güter

Die in Betracht gezogenen Güter entsprechen den in den Berechnungen von Wackernagel [Wackernagel et al., 1999a] und [Onisto et al., 1998] verwendeten Gütergruppen und sind in der Tabelle 3-1 dargestellt. Die Unterteilung ist von den fünf Aktivitätsbereichen (Ernährung, Wohnen, Transport, Konsum und Dienstleistungen) und der daraus folgenden Flächenunterteilung in sechs Hauptkategorien (Ackerland, Wald, Weiden, Meer, bebaute Fläche und Fläche für fossile Energie) abgeleitet.

Die Auswahl der untersuchten Güter und Energiekategorien beruht ausschließlich darauf, dass sie für die gesamte Erde repräsentativ sind. Diese Kategorien reichen aus, um einen ersten Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien zu berechnen, der mit den Ergebnissen anderer Städte und mit dem österreichischen Wert vergleichbar ist.

NAHRUNGSMITTEL	Daten	Flächentyp	NAHRUNGSMITTEL	Daten	Flächentyp
Fleisch (Tierprodukte aus Weidehaltung)	W	Weiden	Kaffee und Tee	A	Ackerland
Fleisch (frisch)	W	Weiden	Kakao	W	Ackerland
Ziegen-, Lamm- u. Rinderfleisch	W	Weiden	Zucker	W	Ackerland
übriges Fleisch	W	Ackerland	Ölsamen (inkl. Soja)	A	Ackerland
Milchprodukte (als Milchäquivalente)	A	Ackerland	HOLZ [als Rundholzäquivalente]	W	Wald
Milch	A	Ackerland	Rundholz	W	Wald
Butter	A	Ackerland	Brennholz	W	Wald
Käse	A	Ackerland	Konsum direkt von Rundholz	W	Wald
Meeresfisch	A	Meer	Sägeholz	W	Wald
Getreide (Summe)	A	Ackerland	Holzbaasierte Panellen	W	Wald
Weizen	A	Ackerland	Holzpulpe	W	Wald
Gerste (nicht gemahlen)	A	Ackerland	Papier und Karton	W	Wald
Verarbeitetes Getreide (Mehl)	A	Ackerland	ANDERE GÜTER		Flächentyp
Tierfutter	W	Ackerland	Tabak	W	Ackerland
Obst und Gemüse (Summe)	W	Ackerland	Baumwolle	A	Ackerland
Gemüse	W	Ackerland	Jute	A	Ackerland
Früchte	W	Ackerland	Kautschuk	A	Ackerland
Wurzeln und Knollen	A	Ackerland	Wolle	A	Weiden
Hülsenfrüchte	A	Ackerland	Fell/Pelz	A	Weiden

*Tabelle 3-1: Datensatz für die Berechnung der für die Güterherstellung beanspruchten Fläche nach [Wackernagel et al., 1999b] und [Onisto et al., 1998];
Verwendete Daten: W: Wien, A: Österreich*

Für die Erstellung der Energiebilanz wird von einer analogen Datenunterteilung ausgegangen. Die darin enthaltenen Werte sollen den Energiebedarf für Herstellung, Konsum und Entsorgung der Güter in den oben aufgeführten fünf Aktivitätsbereichen einschließen.

Für die Energiebilanz wird der Energieinhalt der Güter als „Fläche für fossile Energie“ dargestellt. Genaugenommen ist diese als „Waldfläche“ zu betrachten, da die Energie hier als zu absorbierende Kohlendioxideinheiten berücksichtigt wird. Die Absorptionskoeffizienten sind nach Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] für Absorption durch Wald angenommen.

Für die Berechnung der Energiefläche werden drei Energieverbräuche unterschieden:

- Direkter Verbrauch von gasförmigen, flüssigen und festen Energieträgern für Heizzwecke oder als Treibstoff. Der Energieinhalt wird mit dem unteren Heizwert der Energieträger bestimmt [ÖSTAT, 1997].
- Energieträger für die Produktion von elektrischer Energie für den Bedarf der Stadt Wien. Dieser indirekte Verbrauch von Energieträgern wird mittels Wirkungsgrad der Kraftwerke, dem Energieträger-Mix für Wien, Österreich und Ausland und dem unteren Heizwert der Energieträger bestimmt (siehe Anhang, Tabelle A3c).
- Inkorporierte Energie: Indirekter Verbrauch von Energieträgern durch den Energiebedarf für Herstellung, Konsum und Entsorgung der konsumierten Güter (siehe Tabelle 3-2).

PRODUKTE	Daten	PRODUKTE	Daten
Getränke		Holz, Papier, graphische Erzeugnisse	
Alkoholgetränke		Papier, Pappe und Waren daraus	W
davon Wein		Buchhandel, graphische Erzeugnisse	
Agrarprodukte		Flecht- und Korbwaren	
Zuckerwaren		Halbstoffe aus Holz, Papier- u. Pappeabfälle	
Kakaozubereitung		Holz und Waren aus Holz, Holzkohle	W
Tabakersatz		Kork- und Korbwaren	
Flüssigkeiten, Essig		Textilien	W
Stärke, Milch		Eisen und Stahl	W
Übrige Agrarprodukte und Lebensmittel		Eisen und Stahl	
Rohmaterialien		Eisen- und Stahlerzeugnisse	
Pulp und Altpapier		Nichteisenerzeugnisse	
Rohstoffe/Mineralöle		Aluminium	
Mineralische Brennstoffe, Mineralöle		Metallerzeugnisse	W
Mineralien	W	Basiserzeugnisse aus Metall	
Metallerzen	W	Industrieproduktion	
Brenn- und Mineralstoffe		Energieerzeugung	
Kohle und Koks		interne Verbrennung	
Erdöl und -produkte		Maschinen und Motoren	
Benzin		Maschinen für spezielle Industriezweige	W
Chemische Erzeugnisse und Kunststoffe		Traktoren	
Pharmazeutische Erzeugnisse	W	Bauausrüstung	
Kunststoffe und Waren daraus	W	Druck- und Binderei-Ausrüstung	
Kondensationsprodukte		andere Ausrüstung für spez. Ind. Zweige	
Polymerisationsprodukte		Metallbearbeitende Maschinen	
Basiserzeugnisse		allgemeine industrielle Ausrüstung	A
organische chemische Erzeugnisse	W	Heizung und Kühlung	
diverse chemische Erzeugnisse		Pumpen für Flüssigkeiten	
Gerb- und Farbstoffauszüge, Farben, Lacke	W	Pumpen, Zentrifugen	
anorganische Chemikalien		Nicht-elektrische Teile und Zubehör	
Seifen, Wasch- und Schmiermittel, Wachse		Büroausrüstung	A
übrige chemische Erzeugnisse, Kunststoffe		Automatische Datenverarbeitung	
Stickstoffverbindungen		Telekom und Schall	A
Düngemittel		Maschinen, mechanische Geräte	
Gummi/Lederwaren	W	Elektrische Maschinen	A
Kautschuk und Waren daraus		Transistoren	
Pelzfelle, künstl. Pelzwerk und Waren daraus		Elektrische Maschinen	
Leder-, Sattelwaren, Reiseartikel, Handtaschen		Fahrzeuge	A
Rohe Häute, Felle, Leder		Kraftfahrzeuge, Traktoren, Motorräder	A
Möbel, Spielwaren		Schienenfahrzeuge	
Verschiedene Fabrikate		Luft- u. Raumfahrzeuge und Teile davon	
Nicht klassifizierte Güter	A	Wasserfahrzeuge	
Nicht monetarisiertes Gold		Kleidung und Accessoires	W
Instrumente, Waffen		Präzisionsinstrumente	A

Tabelle 3-2: Datenkategorien für die Energiebilanz nach [Wackernagel et al., 1997] und [Onisto et al., 1998]; Verwendete Daten: W: Wien, A: Österreich

3.3 Datenerfassung

Bei der Datenerhebung für den ersten Teil der vorliegenden Studie wird das Hauptaugenmerk darauf gelegt, dass die erhobenen Daten möglichst vollständig jenen Datensätzen entsprechen, die in den zum Vergleich herangezogenen Studien der anderen Städte verwendet wurden. Die Ressourcennutzung und alle menschlichen Aktivitäten werden schlussendlich zuerst in einem Pro-Kopf-Wert einheitlicher produktiver Erdoberfläche ausgedrückt. Aus diesem Grund wird vorerst nicht von der standardisierten Datengrundlage abgewichen. In diesem Zusammenhang bietet der Ökologische Fußabdruck der Stadt London [Girardet, 1996b]; [Girardet, 1996a] ein interessantes Beispiel: Girardet geht von 11 grundlegenden Material- und Ressourcengruppen (z.B. Wasser, Luft, Plastik, Holz, Nahrungsmittel etc.) sowie von 6 Abfallgruppen aus, ohne sie einer detaillierteren Aufschlüsselung zu unterziehen. Ein ähnliches alternatives Vorgehen wird im zweiten Teil dieser Studie angewendet.

Fehlen lokale Ertragskoeffizienten, werden die österreichischen übernommen. Sollten keine österreichischen Koeffizientenwerte vorhanden sein, werden die Weltdurchschnittsdaten verwendet.

Bei Datenlücken wird unter gewissen Bedingungen (z.B. Vergleich mit dem Weltdurchschnitt bezüglich Ertrag) von gesamtösterreichischen Angaben ausgegangen, denn:

- a) die unterschiedlichen Erträge zwischen dem Wiener und dem österreichischen Boden werden bei einem Vergleich mit anderen Städten resp. mit dem Weltdurchschnitt vernachlässigt, und
- b) europäische Städte, und konkret Wien, sind nach Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] meist auf produktivem (landwirtschaftlichem) Boden entstanden. Es wird daher angenommen, dass die landwirtschaftlichen Bedingungen von Wien dem österreichischen Durchschnitt entsprechen.

Im ersten Teil der vorliegenden Studie wird für die Berücksichtigung der Abfälle von Energieintensitätskoeffizienten (inkorporierter Energie) ausgegangen, die sowohl die Produktion als auch die Entsorgung der untersuchten Güter widerspiegeln. Diese Koeffizienten sind dem Ökologischen Fußabdruck von Österreich entnommen [Wackernagel et al., 1997], da diese Werte aufgrund von fehlenden inländischen Import-Exportdaten (siehe Kapitel 4.4) für Wien nicht bestimmt werden konnten. Dadurch ergibt sich eine Abweichung von den tatsächlichen Wiener Gegebenheiten. Diese Koeffizienten stellen allerdings eine bestmögliche Annäherung dar; daher werden gleiche Energieintensitätskoeffizienten verwendet.

Die bei der Datenerhebung verwendeten Quellen stammen hauptsächlich vom Österreichischen Statistischen Zentralamt - ÖSTAT (Statistisches Jahrbuch für Österreich 1996) [ÖSTAT, 1997], Magistratsabteilung 66 – Statistisches Amt der Stadt Wien (Statistisches Jahrbuch für Wien) [MA66, 1998]), Mitteilungen der MA66 Wien und dem Fußabdruck der Nationen [Wackernagel et al., 1997]. Die genauen Verweise auf die Datenquellen finden sich unmittelbar bei den entsprechenden Tabellen.

4 Resultate

4.1 Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien – IST

Als erstes Ergebnis dieser Studie gilt die Erkenntnis, dass es sich sowohl beim Fußabdruck von Wien als auch bei den Fußabdrücken der Referenzstädte nur um Minimumwerte handeln kann, da eine vollständige Erfassung **aller** produzierten, exportierten und importierten Güter praktisch nicht möglich ist. Daher werden in dieser Studie die Zahlen unter dem Begriff *Ökologischer Fußabdruck* als eine untere Grenze angenommen. Eine Ausnahme stellt nur der SOLL-Wert dar, welcher, wie in Kapitel 4.2 gezeigt, einen Maximalwert repräsentiert.

Der **Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien**, berechnet nach der Methode von Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] und mit den entsprechenden Wiener bzw. österreichischen Datensätzen verknüpft, beträgt **mindestens 3,9 ha/E.a.** Die Berechnung basiert auf der Berücksichtigung von 36 Gütern als Maß für den direkten Flächenverbrauch, 7 Energieträgergruppen und 53 Gütergruppen als zusätzlicher Energieinput durch Güterimport und Abfallentsorgung. Die Aufgliederung des Flächenverbrauchs ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

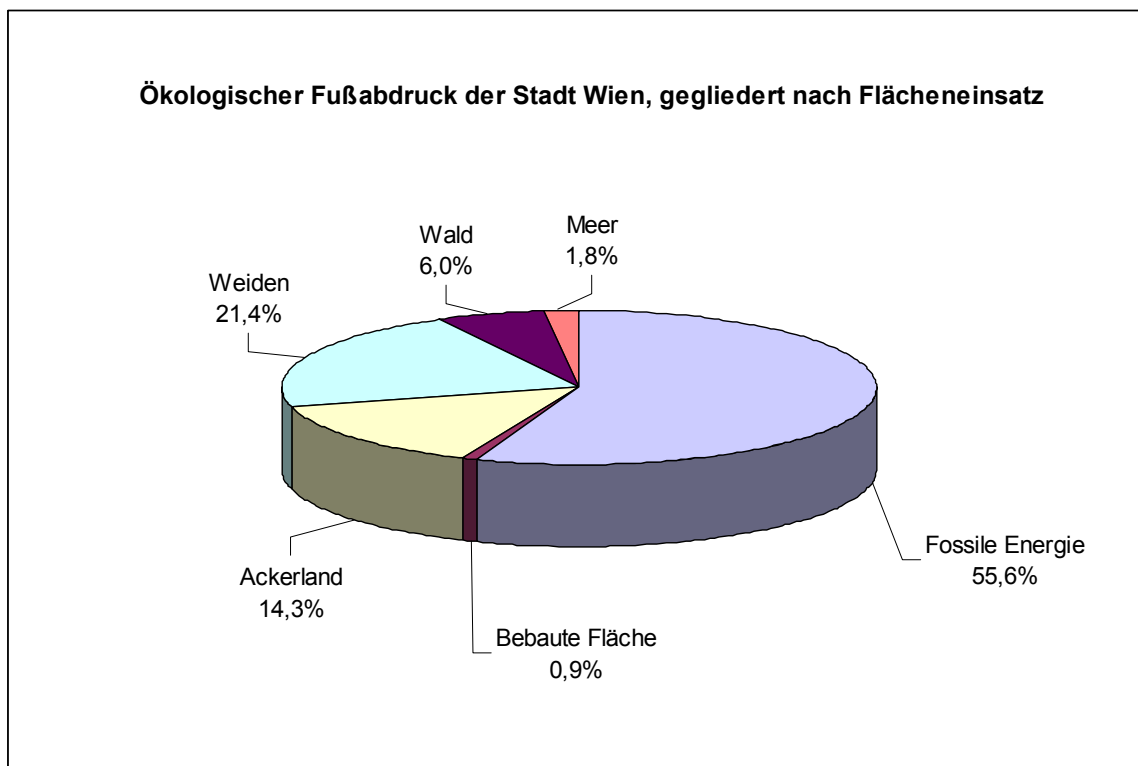


Abbildung 4-1: Aufteilung des Ökologischen Fußabdruckes (3,9 ha/E.a) der Stadt Wien nach Flächennutzung gemäß [Wackernagel & Rees, 1996]

Der ökologische Fußabdruck der Stadt Wien wird im Wesentlichen von drei Kategorien geprägt, „Fossile Energie“, „Weiden“ und „Ackerland“. Diese Kategorien gemeinsam sind für

91 % des ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien verantwortlich. Der Anteil der Kategorie „Fossile Energie“ am Ökologischen Fußabdruck von Wien beträgt 56 % und besteht aus drei Komponenten: 1. die Fläche, die der tatsächlich in der Stadt verbrauchten Menge an fossiler Energie entspricht; 2. die Fläche, die für die Aufnahme des bei Produktion, Konsum und Entsorgung der Güter und bei der Energienutzung entstehenden Kohlendioxids benötigt wird; 3. die Fläche, die der in den netto-importierten Gütern inkorporierten Energie entspricht. Unter dem angenommenen Vorgehen sollte diese mit Waldfläche approximiert werden. Um zwischen dem tatsächlichen Waldflächenverbrauch und dem virtuellen, d.h. durch den Konsum von fossilen Energieträgern resultierenden, deutlich unterscheiden zu können, werden die beiden Waldkomponenten separat betrachtet, d.h. die Letztere wird als „Fossile Energiekomponente“ bezeichnet (siehe Tabelle 3-2). Die energiespezifische Flächenkomponente ist also als fiktive Waldfläche zu interpretieren, die für die Absorption des aus der fossilen Energie entstandenen Kohlendioxids benötigt wird.

Die Kategorien „Ackerland“ und „Weiden“ umfassen die in der Stadt Wien konsumierten Nahrungs- und Genussmittel und den Verbrauch ausgewählter Konsumgüter (siehe Tabelle 3-1). Der Beitrag der landwirtschaftlichen Flächen, d.h. Ackerland (14 %) und Weidenfläche (21 %) zum Ökologischen Fußabdruck beläuft sich auf etwa 35 %. Ihr Betrag zum Ökologischen Fußabdruck wird derzeit unterschätzt, weil eine gesamthafte Zuordnung der Konsumgüter nicht erfolgen kann. Dies liegt daran, dass einerseits viele Güter gegenwärtig nur indirekt über die in den Gütern inkorporierte Energie berücksichtigt werden, und andererseits eine direkte Zuordnung zu den jeweiligen Kategorien der Flächennutzung noch nicht möglich ist (siehe auch Anhang, Tabellen A1 und A3a,b).

Die Kategorie „Wald“ zeigt die Waldfläche, die für die Erzeugung und den Konsum von Holz- und diversen Papierwaren benötigt wird. Die Kategorie „Meer“ entspricht der Meeresfläche, die benötigt wird, um den Fischkonsum der Stadt Wien decken zu können. Die Kategorie „Bebaute Fläche“ widerspiegelt den Baubestand der Stadt, einschließlich dem Straßennetz.

4.2 Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien – SOLL

Der weltdurchschnittliche SOLL-Fußabdruck, definiert von Wackernagel [Wackernagel et al., 1997], beträgt **1,7 ha/E.a**. In diesem Fall handelt es sich um einen **maximalen Wert**, der nicht überschritten werden sollte, um eine nachhaltige und umweltorientierte Zukunftsentwicklung der Menschheit und um die Erhaltung der Umwelt und der natürlichen Ressourcen zu gewährleisten.

Komponente	Weltdurchschnittlicher SOLL-Wert		Wien		
	Biodiversität nicht berücksichtigt	Biodiversität berücksichtigt	IST-Wert	Reduktion	SOLL-Wert
	[ha/E.a]	[ha/E.a]	[ha/E.a]	[ha/E.a]	[ha/E.a]
Ackerland	0,25	0,22	0,554	0,305	0,249
Weiden	0,60	0,53	0,830	0,456	0,373
Wald	0,60	0,53	0,232	0,128	0,105
Bebaute Fläche	0,03	0,03	0,034	0,019	0,015
Meeresfläche	0,50	0,44	0,072	0,039	0,032
Energiefläche	-	-	2,153	1,184	0,969
Summe	2,0	1,7	3,9	2,1	1,7

Tabelle 4-1: Vergleich des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien mit dem SOLL-Wert

Der **SOLL-Fußabdruck**, wie in der Tabelle 4-1 gezeigt, geht von den produktiven Flächenkomponenten der Erdoberfläche aus [Wackernagel et al., 1997], die dem Menschen rein geographisch zur Verfügung stehen. Zur Erhaltung der Biodiversität wird die gesamte verfügbare Fläche um 12 % reduziert, und daraus ergibt sich der SOLL-Fußabdruck von 1,7 ha/E.a. Die entsprechende Aufteilung der am IST-Wert für die Stadt Wien beteiligten Flächen sowie die notwendige Reduktion sind ebenfalls in [ha/E] dargestellt.

Um den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien dem noch umweltverträglichen Grenzwert von 1,7 ha/E anzunähern, wäre eine Reduktion des aktuellen Fußabdruckes um mindestens 55 % notwendig. Diese würde einen Rückgang von 2,1 ha/E.a erfordern und ergibt sich bei einer gleichmäßigen (nicht gewichteten) Reduktion des jeweiligen Flächentypus um 55 %. Dieser Rückgang betrifft die „Energiefläche“, die „Weiden“ und das „Ackerland“ am stärksten.

Aufgrund der Bedeutung des Verbrauchs an fossiler Energie resp. des Bedarfs an CO₂-absorbierender Fläche für die Größe des Ökologischen Fußabdruckes wird auf diese Problematik im zweiten Teil der Studie noch im Detail eingegangen, denn diese Fragestellung ist sowohl methodisch als auch für die praktische Bestimmung des Ökologischen Fußabdruckes von großer Bedeutung.

Die wichtigsten Komponenten der Energiefläche für den Ökologischen Fußabdruck sind die flüssigen Brennstoffe mit einem Beitrag von 28 % und die in den Gebrauchsgütern enthaltene inkorporierte Energie und das Erdgas mit einem Anteil von jeweils etwa 26 %.

Komponente (Energieträger)	Spezifischer Energieverbrauch [GJ/E.a]	Fußabdruckkomponente [ha/E.a]
Fläche für fossile Energie: Koks und Kohle	12,5	0,227
Fläche für fossile Energie: flüssige Brennstoffe	37,7	0,531
Fläche für fossile Energie: Erdgas	46,1	0,496
Fläche für fossile Energie: Nuklearenergie	9,1	0,128
Fläche für fossile Energie: inkorporiert in Nettoimportgütern	35,5	0,500
Bebaute Fläche für Wasserenergie	7,6	0,008
Biologisch-basierte Energieträger	k.A.	k.A.
Summe	148,6	1,891

Tabelle 4-2: Spezifischer Energiefußabdruck der Stadt Wien; Quelle: Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien 1997; [MA66, 1998]; Werte aus 1996

Die Umrechnung und Darstellung des spezifischen Energieverbrauchs als Flächeneinheit basiert auf den globalen Energieintensitäts- (für die inkorporierte Energie) und CO₂-Absorptionskoeffizienten (für die Umrechnung der Energie in Fläche) [Wackernagel et al., 1997].

Die Zeile „Biologisch-basierte Energieträger“ in der Tabelle 4-2 berücksichtigt die Energiegewinnung aus biologischen Energieträgern (z.B. Methanol), für die jedoch keine Daten für Wien vorhanden sind. Die Summe der Fußabdruckkomponenten in Tabelle 4-2 (1,89 ha/E.a) unterscheidet sich vom IST-Wert der Energiefläche in der Tabelle 4-1 (2,15 ha/E.a), da die Fußabdruckkomponenten für die Energie noch nicht mit dem

Biomasseäquivalenzfaktor² für die Energiefläche von 1,14 multipliziert wurden [Wackernagel et al., 1997].

Die Reduktionsrate würde die Kategorien „Meeresfläche“ und „Bebaute Fläche“ am wenigsten betreffen. Eine Erklärung für den geringen Beitrag der „Bebauten Fläche“ kann darin liegen, dass eine vollständiger methodische Erfassung der Gebrauchsgüter qualitativ (d.h. durch mittel- oder langfristige Gewichtung) in Form des Lagers nach dem derzeitigen Stand der Originalmethodik nicht durchgeführt wird: z.B. eine Straße wird nur als die tatsächlich bebaute Fläche berücksichtigt, sie vernachlässigt jedoch die Ressourcen und die Energie, die für ihre Errichtung eingesetzt worden sind.

4.3 Der Ökologische Fußabdruck anderer Städte und von Österreich

4.3.1 Vergleich des Fußabdrucks von Wien mit jenen anderer Städte

Der Vergleich basiert auf Daten von vier Großstädten, einer kleineren Stadt (Kuoplo, Finnland) und einer urbanen Region (Malmö, Schweden). Die Schlüsseldaten, wie Bevölkerung, geographische Fläche und Fußabdruck als Gesamt- und pro-Kopf-Werte, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Bevölkerung, [E]	Geographische Fläche, [ha]	Geographische Fläche pro-Kopf, [ha/E.a]	Ökologischer Fußabdruck (gesamt), [ha]	Ökologischer Fußabdruck pro-Kopf, [ha/E.a]
Wien	1.609.631	41.495	0,026	6.236.447	3,9
London¹	7.000.000	157.820	0,023	20.212.000	2,9
Den Haag²	442.583	7.110	0,016	2.168.658	4,9
Santiago de Chile³	4.676.900	791.581	0,169	13.329.165	2,9
Malmö⁴	800.000	500.000	0,625	5.760.000	7,2
Kuoplo⁵	84.733	117.940	1,392	310.123	3,7
Toronto⁶	2.385.421	63.000	0,026	18.367.742	7,7

Tabelle 4-3: Geographische Fläche und Ökologische Fußabdrücke der Stadt Wien und der Vergleichsgrößen nach der Originalmethodik berechnet als Gesamt- [ha] und pro-Kopf-Werte [ha/E.a]

Datenquellen:

¹ - [Girardet, 1996b], [Girardet, 1996a], [Girardet, 1999]

² - [Breumelhof, 1998]

³ - [Wackernagel, eingereicht]

⁴ - [Wackernagel et al., 1999a]

⁵ - [Hakanen, 1999]

⁶ - [Onisto et al., 1998]

Die Auswahl der Vergleichsgrößen basiert auf folgenden zwei Überlegungen:

² Der Biomasseäquivalenzfaktor stellt die relative Fähigkeit für eine Flächenkategorie dar, Biomasse erzeugen zu können. Ein Faktor von 3,2 bedeutet beispielsweise, dass diese Flächenkategorie 3,2 Mal produktiver ist, als der Weltdurchschnitt.

1. Die gewählten Städte und Region stellen Beispiele für großurbane Siedlungen bzw. Siedlungen mit einem der Stadt Wien ähnlichen Standard dar. Komplementär wurde eine Stadt mit einem unterschiedlichen kulturellen Umfeld gewählt (Santiago de Chile).
2. Mit Ausnahme von London sind alle anderen Beispiele nach den von Wackernagel [Wackernagel et al., 1997] vorgeschlagenen Datenkategorien berechnet worden. In London wurden weniger Güter- und Flächenkategorien (Weiden, Bebaute Fläche, Meeresfläche; siehe auch Tabelle 4-5) herangezogen, trotzdem werden die Ergebnisse berücksichtigt.

Abgesehen von den unterschiedlichen klimatischen, landwirtschaftlichen und industriellen Bedingungen der Vergleichsregionen, spielt die Bevölkerungsdichte, hier als Fläche pro Einwohner ausgedrückt, eine wesentliche Rolle für die Ergebnisse dieser Studie.

In absoluten Zahlen betrachtet, sind London, Santiago de Chile und Toronto die bevölkerungsreichsten Städte. Sie haben um 4x, 3x und 1,4x mehr Bevölkerung als Wien. An geographischer Fläche steht nur Den Haag weniger Fläche zur Verfügung. Den Haag verfügt über 6x weniger Fläche als Wien. Im Vergleich dazu, liegt die Flächenverfügbarkeit von Santiago de Chile und Malmö wesentlich über der von Wien. Santiago de Chile verfügt über 19x und Malmö über 12x mehr geographische Fläche.

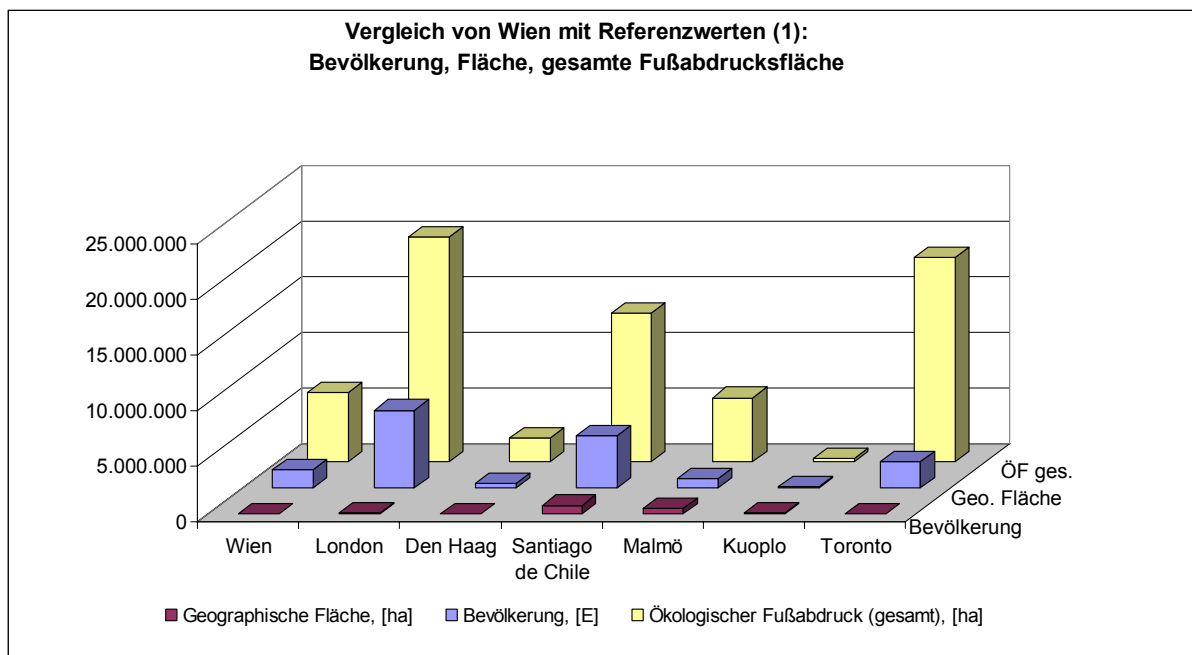


Abbildung 4-2: Vergleich von Wien mit den Referenzstädten nach Gesamtflächen

Vergleiche der geographischen Fläche pro Kopf und der Ökologischen Fußabdrücke pro Kopf zeigen, dass die verfügbaren Flächen pro Kopf für Wien, London, Den Haag und Toronto mit 0,2 bis 0,3 ha/E.a in derselben Größenordnung liegen. Die geographischen Flächen pro Kopf der Städte Kuopio, Malmö und Santiago de Chile übersteigen jene von Wien um das 53, 24 und 7 fache.

Mit einem Ökologischen Fußabdruck pro Kopf von 3,9 ha/E.a liegt Wien in der Nähe von Kuopio. Nur die Ökologischen Fußabdrücke von London und Santiago de Chile sind um

etwa 25 % niedriger. Der Ökologische Fußabdruck pro Kopf von Den Haag ist 1,3x und diejenigen von Malmö und Toronto sind um etwa 1,8x größer.

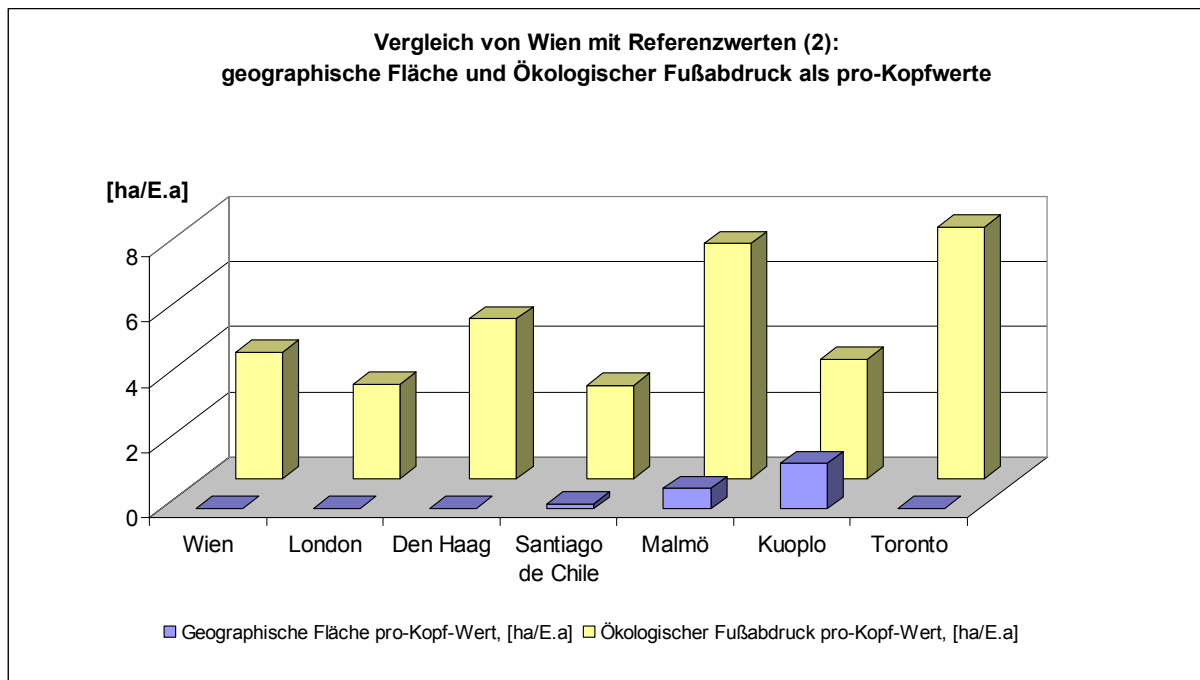


Abbildung 4-3: Vergleich von Wien mit den Referenzstädten nach pro-Kopf-Flächenwerten

Eine Gegenüberstellung der verfügbaren geographischen Flächen mit den jeweiligen Ökologischen Fußabdrücken zeigt, wie viel „virtuelle“ Fläche die Städte mehr verbrauchen, als ihnen „real“ zur Verfügung steht.

Referenzstädte	Geographische Fläche [ha]	Ökologischer Fußabdruck [ha]	Verhältnis „Fußabdruck zu Fläche“ [-]
Wien	41.495	6.236.447	150
London	157.820	20.212.000	128
Den Haag	7.110	2.168.658	305
Santiago de Chile	791.581	13.329.165	17
Malmö	500.000	5.760.000	12
Kuoplo	117.940	310.123	3
Toronto	63.000	18.367.742	292

Tabelle 4-4: Verhältnis des Ökologischen Fußabdruckes zur geographischen Fläche von Wien und der Referenzstädte

Der Ökologische Fußabdruck von Wien überschreitet die real verfügbare Fläche der Stadt um das 150-fache. Die Fußabdrücke der Städte Den Haag und Toronto sind um das 300-fache größer. Während die Städte Santiago de Chile und Kuoplo im Gegensatz dazu mit ihrem Wert um mehr als eine bis zwei Zehnerpotenzen tiefer liegen.

Ein Vergleich mit der Bevölkerungsdichte, d.h. mit der verfügbaren geographischen Fläche pro Kopf (siehe Tabelle 4-3) zeigt, dass bei jenen Städten mit der höchsten Bevölkerungsdichte (Wien, London, Den Haag und Toronto) die Ökologischen Fußabdrücke am stärksten von den real zur Verfügung stehenden geographischen Flächen auseinander klaffen.

Eine detaillierte Gegenüberstellung der Ökologischen Fußabdrücke der Vergleichsgrößen erlaubt auch eine qualitative Gegenüberstellung der einzelnen Komponenten dieser Ökologischen Fußabdrücke:

Komponente	Wien	London	Den Haag	Sant. de Chile	Malmö	Kuoplo	Toronto
	[ha/E.a]	[ha/E.a]	[ha/E.a]	[ha/E.a]	[ha/E.a]	[ha/E.a]	[ha/E.a]
Ackerland	0,55	1,24	0,71	0,12	1,20	0,32	1,40
Weiden	0,83	k.A.	k.A.	1,01	0,90	0,15	0,80
Wald	0,23	0,11	0,47	0,19	1,60	0,47	1,20
Bebaute Fläche	0,03	k.A.	0,01	0,02	0,70	0,06	0,60
Meeresfläche	0,07	k.A.	0,02	1,11	0,30	k.A.	0,30
Energiefläche	2,15	1,53	3,69	0,40	2,60	2,66	3,40
Summe	3,87	2,88	4,90	2,85	7,30	3,66	7,70

Tabelle 4-5: Vergleich der Ökologischen Fußabdrücke von Wien und den Referenzregionen, aufgeschlüsselt nach Flächenkategorien

Bezüglich der Nutzung von Ackerland verbraucht Wien ähnlich viel Fläche wie Den Haag. Die Ackerlandnutzung von Malmö, London und Toronto ist fast doppelt so groß. Zwei wesentliche Faktoren für die Größe dieser Fußabdruckkomponente für Wien sind der Verbrauch von Nahrungsmitteln vor allem von Getreide und dessen Ertragskoeffizient.

Die Weidenflächennutzung von Wien liegt in der Nähe von Toronto, Malmö und Santiago de Chile. Die Weidenutzungskomponente von Kuoplo liegt um etwa 80 % unter dem Wert von Wien. Das Fleisch und die Milch(produkte) sind hauptverantwortlich für die Größe der Wiener Fußabdruckkomponente Weidenflächennutzung.

Die reine Waldnutzung (d.h. ohne das Waldflächenäquivalent für die Absorption der fossilen Energie) von Wien liegt in der Nähe von Santiago de Chile. Die Waldnutzungskomponente der Städte Den Haag und Kuoplo ist fast Doppelt so groß. Jene von Malmö ist 7x und jene von Toronto 5x größer. Für die Waldnutzungskomponente von Wien ist das Holz maßgebend.

Mit ihrer Größe der Komponente Bebaute Fläche liegt Wien nicht in der Nähe einer der Referenzstädte. Die Komponenten der Städte Den Haag und Santiago de Chile liegen 74 % bzw. 41 % darunter. Die Bebauten Flächen von Kuoplo sind 1,7x größer und jene von Malmö und Toronto etwa 20x.

Bei der Nutzung der Meeresfläche ist Wien im unteren Bereich der betrachteten Städte. Lediglich Den Haag verbraucht um 70 % weniger Meeresfläche. Die Städte Malmö und Toronto benötigen um etwa 4x mehr und Santiago de Chile etwa 15x mehr Meeresfläche.

Der Energieflächenverbrauch der Stadt Wien liegt in der Nähe von Malmö und Kuoplo. London verbraucht um etwa 30 %, Santiago de Chile um 5x weniger Energiefläche. Der

Verbrauch an Energiefläche von Den Haag und Toronto liegt um etwa 70 % bzw. 60 % über dem Energieflächenverbrauch von Wien.

4.3.2 Vergleich von Wien mit Österreich

Der Vergleich des Ökologischen Fußabdrucks der Stadt Wien mit dem von Wackernagel [Wackernagel et al., 1997] erstellten Fußabdruck von Österreich zeigt, dass diese beide Abdrücke eng miteinander verbunden sind, da eine Reihe von Werten analog berechnet wurde bzw. dieselben Ertragskoeffizienten verwendet werden mussten. Damit ergibt sich ein unvermeidbarer Bezug zum Bundesdurchschnitt. Die wichtigsten Parameter für die beiden Größen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

	Fläche [ha]	Bevölkerung [E]	pro-Kopf-Flächenwerte [ha/E]
Österreich ¹	8.385.800	7.986.000	1,05
Wien ²	41.495	1.609.631	0,03
Öko. Fußabdruck Österreich ³	32.431.652	-	4,1
Öko. Fußabdruck Wien	6.236.447	-	3,9

Tabelle 4-6: Geographische Fläche und Ökologische Fußabdrucke von Wien und Österreich als totale [ha] und pro-Kopf-Werte [ha/E.a]

Datenquellen: ¹ - Statistisches Jahrbuch Österreich, 1996 [ÖSTAT, 1997], ² - Statistisches Jahrbuch Wien, 1997; Werte für 1997 [MA66, 1998], ³ - The Ecological Footprint of Austria, in „Ecological Footprints of Nations“, [Wackernagel et al., 1997]

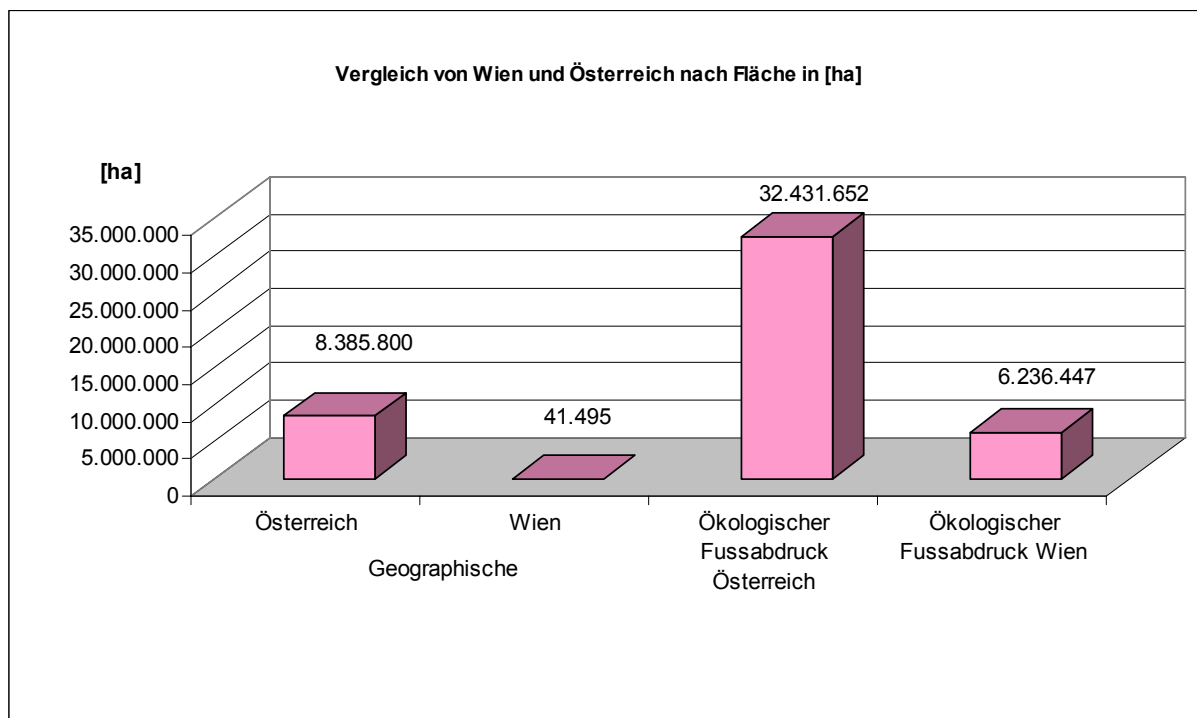


Abbildung 4-4: Vergleich von Wien und Österreich nach Gesamtflächen

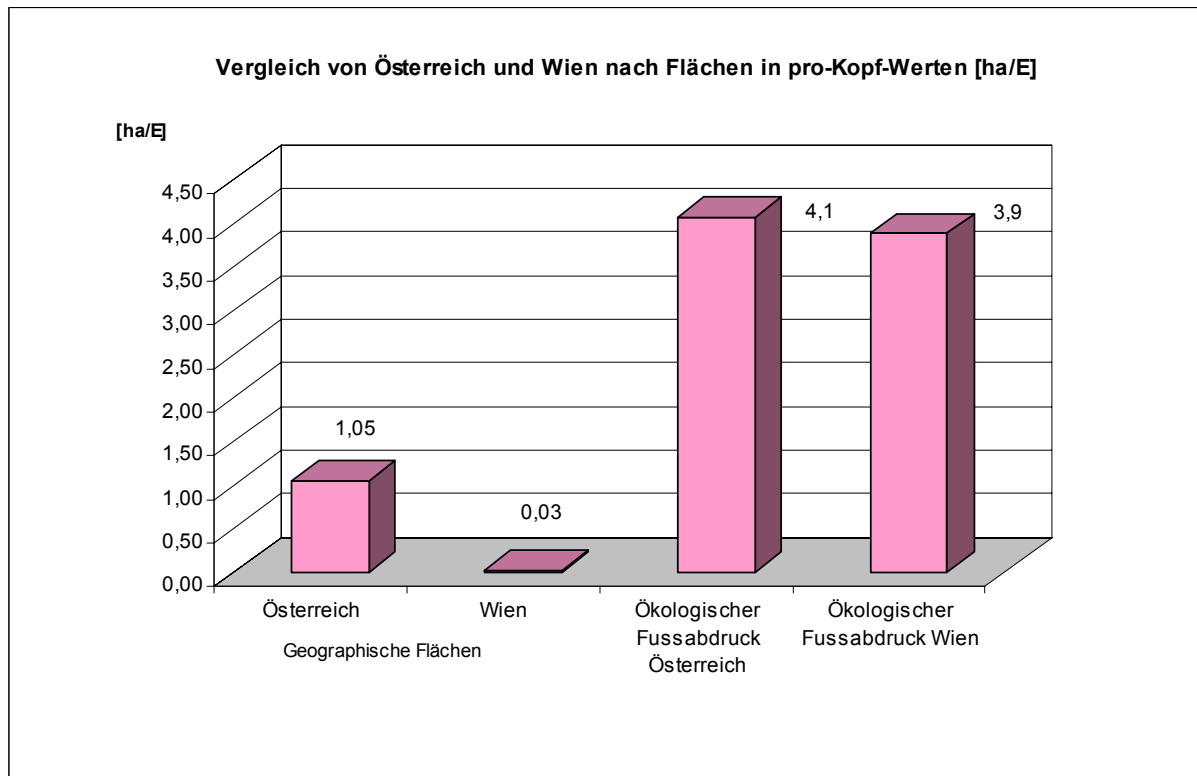


Abbildung 4-5: Vergleich von Wien und Österreich nach pro-Kopf-Flächenwerten

Ein Vergleich dieser Basisangaben ist für die Bewertung der beiden Fußabdrücke maßgebend, da die geographische Fläche von Wien nur 0,5 % der Fläche von Österreich ausmacht, der Bevölkerungsanteil jedoch 20 % beträgt. Diese ungleichmäßige Bevölkerungsdichte, in Form der geographischen Fläche als Lebens- und wirtschaftliche pro-Kopf-Verfügbarkeit, zeigt sich auch in der Größenordnung, um die die beiden Fußabdrücke die entsprechende geographische Fläche überschreiten (siehe Abbildung 4-5). Es wird ersichtlich, dass die Versorgung von **20 % der österreichischen Bevölkerung** einen **Flächenbedarf** erfordert, der **knapp 75 % der Landesfläche Österreichs ausmacht**. Dies zeigt sich in der Gegenüberstellung der geographischen Flächen durch die Werte der Fußabdrücke in der Tabelle 4-6. Ein qualitativer Vergleich der einzelnen Fußabdruckkomponenten von Wien und Österreich ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Komponente	Wien [ha/E.a]	Österreich [ha/E.a]	Vergleich W-Ö in %
Ackerland	0,55	0,9	-38 %
Weiden	0,83	0,9	-8 %
Wald	0,23	0,5	-54 %
Bebaute Fläche	0,03	0,4	-92 %
Meeresfläche	0,10	0,1	0 %
Energiefläche	2,15	1,4	+54 %
Summe	3,9	4,1	-6 %

Tabelle 4-7: Vergleich der Ökologischen Fußabdrücke von Wien und Österreich, aufgeschlüsselt nach Flächenkategorien

Der Energieflächenverbrauch von Wien liegt um 54 % über jenem von Österreich. Der wesentliche Unterschied liegt im Wert für die inkorporierte Energie. Während der Anteil der inkorporierten Energie für die Energiefläche von Österreich den Fußabdruck um 0,2 ha/E.a verkleinert (Der Wert für die inkorporierte Energie ist Negativ, d.h. es werden mehr Produkte exportiert als importiert), vergrößert der Wert für die Energiefläche von Wien den Ökologischen Fußabdruck von Wien um 0,5 ha/E.a.

Die Stadt Wien verbraucht um 38 % weniger Ackerland als Österreich. Der Weidenflächenverbrauch von Wien liegt um 8 % unter jenem von Österreich. Der Waldverbrauch (direkter Verbrauch, Energiefläche ausgeschlossen) von Wien ist um 54 % tiefer als jener von Österreich. Der Anteil an bebauter Fläche liegt in Wien um eine Zehnerpotenz unter jener von Österreich. Da die Daten für den Verbrauch an Meeresfläche dem Fußabdruck von Österreich [Wackernagel et al., 1997] entnommen wurden, unterscheidet sich der Verbrauch an Meeresfläche von Wien und Österreich nicht.

4.4 Diskussion der Datenlage

Die Datenerhebung und -qualität sind von entscheidender Bedeutung für die Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks, für die Bewertung der Ergebnisse, für die Richtung der weiteren methodischen Entwicklung und nicht zuletzt auch für die Ableitung von Maßnahmen in Hinsicht auf eine nachhaltige zukünftige Entwicklung.

In der vorliegenden Studie haben sich im Zusammenhang mit der Datenlage sechs Problemstellen gezeigt. Diese lassen sich, wie folgt, zusammenfassen:

1. **Es existieren für viele der zu untersuchenden Güter praktisch keine spezifischen Daten für Wien.** Der Grund dafür ist, dass seit 1995 keine Produktionsdaten als Gütermengen erhoben werden, sondern nur mehr als monetäre Werte. Dies stellt ein großes Hindernis für einen korrekten und präzisen Übergang von monetärem Wert zu Mengenangabe dar, welche schlussendlich der entscheidende Parameter für die Berechnung der Flächen ist.
2. **In den statistischen Datensätzen für Wien** (und auch für die anderen Bundesländer) **sind hauptsächlich Produktionswerte angeführt, Konsum- (Ausnahme: Energiekonsum) oder Import- und Exportdaten stehen praktisch nicht zur Verfügung.** Dabei stellen die Konsumraten den Kernpunkt der Berechnung des Ökologischen Fußabdruckes dar.
3. **Der ökologische Rucksack der importierten und in der Region konsumierten Güter kann den Flächenbedarf der untersuchten Region und damit den ökologischen Fußabdruck beeinflussen.** Daher ist eine möglichst genaue Berechnung des individuellen Rucksacks durch Berücksichtigung der mengenmäßig wichtigsten in die Stadt importierten Gütern von großer Bedeutung. Eine weitere Frage ist der Verbrauch von eigenen Ressourcen (produktiver Fläche) zur Herstellung von direkt konsumierten oder exportierten Gütern. Die geographische resp. politische Grenze der Region ist in diesem Fall nicht mehr als Definition der Region ausreichend, es ist daher das dazugehörige „Hinterland“ zu berücksichtigen.
4. **Export- und Importdaten werden nur auf nationaler Ebene ermittelt, und nicht zusätzlich auch auf Länderebene.** Dadurch erweist sich eine Betrachtung der

Güterflüsse zwischen den einzelnen Bundesländern, und daher auch von und nach Wien, als praktisch kaum erfassbar.

5. Die in den Vergleichsstädten (z.B. Toronto, London) verwendeten Daten, weisen zwei wichtige Lücken auf, die sich auf die Größe des Fußabdrucks auswirken.

1. Die benutzten Datensätze sind nicht vollständig. Beispielsweise werden im Fall von Toronto und Österreich Güter (z.B. Weizen, Käse) verwendet, für die zwar Export- oder Importraten vorhanden sind, allerdings keine Informationen über ihre Produktion oder ihren Konsum berücksichtigt wurden.

2. Die in den Gütern und Abfällen enthaltene inkorporierte Energie, die den Grossteil des Wertes ausmacht, wird jeweils auf unterschiedliche Art und Weise einberechnet. In der Energiebilanz von London [Girardet, 1999] werden die Energieinhalte der Güter und Abfälle von den Werten des privaten Haushalts (Heizung und Konsum von elektrischer Energie) abgeleitet. In Toronto [Krause, 1999] wird nur die Energie resp. der Treibstoff für den Abfalltransport und der Abwasserbehandlung berücksichtigt, nicht aber der Energiebedarf für die Abfall- oder Klärschlammbehandlung. In Wien wird die durch die Verbrennung von Abfällen gewonnene Energie in der Energiebilanz berücksichtigt.

6. Die untersuchten Güter sind nicht stadt- oder regionsspezifisch, d.h. es werden in allen Regionen dieselben Güter berücksichtigt. (siehe Kapitel 3.1). Dadurch wird eine Voraussetzung und Diskussionsgrundlage für die Vergleichbarkeit der einzelnen Fußabdrücke geschaffen. Darauf aufbauend kann dieses Analyseinstrument weiterentwickelt und an die Ansprüche der Praxis angepasst werden. Der Vorteil der Verwendung eines einheitlichen Datensatzes erweist sich aber gleichzeitig auch als sein folgenschwerster Nachteil. Ein undifferenzierter Datensatz kann nur schwer zu einem realitätsnahen Bild über die Stadt Wien führen. Dadurch besteht die Gefahr, für Wien entscheidende Güterkategorien außer Acht zu lassen. Ähnliche Überlegungen gelten auch für die im Fußabdruck enthaltenen Energiewerte. Es ist nicht möglich, ein einheitliches Bild über die Energieschlüsselstellen aufzubauen, da die Energiedaten nach Güterkategorien und nicht als Energieflüsse erfasst werden. Die Flüsse sind jedoch entscheidend für die Größe des Fußabdrucks und sie sind es auch, die schlussendlich gesteuert werden können (siehe Kapitel 5).

Bezüglich der Datenlage kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die Quantifizierung des Ökologischen Fußabdrucks einer Stadt nach Wackernagel prinzipiell möglich ist. Viele Daten sind jedoch gegenwärtig für die Region der Stadt Wien nicht verfügbar. Sie zu erheben, ist teilweise mit einem sehr hohen Datenerhebungs- und -aufbereitungsaufwand verbunden.

Eng mit obiger Fragestellung verknüpft ist auch die Frage, wie detailliert der Ökologische Fußabdruck berechnet werden muss, d.h. mit welchem Aufschlüsselungsgrad die Güterkategorien berücksichtigt werden sollen. Ob eine zusätzliche Erhebung sinnvoll ist, hängt vom jeweiligen Gut und seiner Bedeutung für die Größe des Ökologischen Fußabdrucks ab. In jedem Fall sollte im vorhinein eine Abschätzung in Form einer Kosten-Nutzen-Analyse vorgenommen werden.

4.5 Diskussion der Methodik

Eine Stärke dieser Methodik liegt in ihrer Fähigkeit, auf eine sehr anschauliche und kommunikative Weise die Interaktionen zwischen Anthroposphäre und Umwelt darzustellen.

Die Methode liefert grobe und leicht verständliche Ergebnisse, die sehr gut für öffentliche und erzieherische Arbeit im Umweltschutz eingesetzt werden können.

Ein weiterer Vorteil dieser Methodik besteht darin, eine nachhaltige Entwicklung oder das Gegenteil davon aufzuzeigen. Sie bietet die Möglichkeit, eine anthropogene Grenze zu ziehen, bis zu der sowohl die Verfügbarkeit von Ressourcen für die kommenden Generationen als auch die Erhaltung der Biodiversität gesichert bleibe.

Als ein Steuerungsmittel für die Praxis und zur Lösung von konkreten Umweltproblemen ist die Aussagekapazität der Methodik vorläufig nicht ausreichend. Die wichtigsten ungelösten methodischen Fragestellungen sind:

1. Erfassung von volumetrischen Ressourcen

Eine der wichtigsten derzeit offenen methodischen Fragen ist die Erfassung von Ressourcen, die sich nicht einfach in Form einer Fläche darstellen lassen, wie z.B. Baumaterialien (Kies, Zement, Stahl, Sand), feste Abfälle (nichtabbaubares Deponiegut, MVA-Schlacke) oder Erzeugnisse der chemischen Industrie. Prinzipiell bestehen Möglichkeiten, diese Kategorien als virtuelle Schichten umzurechnen, doch beruhen die Kriterien für die Auswahl einer repräsentativen Mächtigkeit der einzelnen Schichten nicht auf eindeutigen Grundlagen³. Andererseits müssen sich die oben erwähnten Kategorien im Ökologischen Fußabdruck widerspiegeln, da sie einen bedeutenden Anteil am urbanen Konsum darstellen (Daxbeck et al., 1996). Ein Fußabdruckwert ohne diese Gütergruppen ist unvollständig und spiegelt daher den realen Metabolismus der Stadt nicht wider.

2. Berücksichtigung der Abfallwirtschaft

2.1. Erfassung von Abwasser, Abfall und Abgas

Eine ebenfalls noch nicht gelöste, sehr wichtige Frage ist die umfassende Berücksichtigung der festen, flüssigen und gasförmigen Abfälle. Ihre umweltfreundliche Entsorgung muss eine entsprechende Gewichtung im Ökologischen Fußabdruck finden, da Abfälle eine eigene Gütergruppe darstellen, deren Eigenschaften sich stark vom Verhalten während ihrer Lebensdauer als Güter in Produktion und Konsum unterscheiden. Nach Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] soll die Abfallwirtschaft ihren entsprechenden Anteil am Ökologischen Fußabdruck leisten, allerdings ist dies praktisch noch nicht umgesetzt. Die Abfälle werden nicht als eigene Kategorie berücksichtigt (d.h. mit Emissionen, spezifischen Absorptionskoeffizienten und eigenem Flächenbedarf), sondern nur als direkt zu absorbierende CO₂-Emission oder als inkorporierte Energie [Krause, 1999], [Girardet, 1999], [Wackernagel et al., 1997]. Andere Autoren [Juffermans, 1999] lassen die Abfälle absichtlich außer Acht, um ein Doppelzählen von Ressourcen zu vermeiden. Obwohl diese Überlegung prinzipiell nicht unbegründet ist, rechtfertigt sie eine Vernachlässigung der Abfallwirtschaft nicht. Die Abfallwirtschaft ist ein unverzichtbarer Teil des Konsumprozesses, da sie das Abschlussglied in der Konsumkette darstellt. Die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft führt eher dazu, statt mit einem Produktionsfußabdruck mit einem Konsumfußabdruck zu arbeiten. Eine sorgfältige Erfassung der Abfallwirtschaft würde ein Doppelzählen von Ressourcen ausschließen.

Die Wiener Abfallwirtschaft spielt als Fernwärmeproduzent auch eine Rolle als Energiequelle für die Stadt. Die Bedeutung der Abfallwirtschaft zeigt sich in der Realität durch zusätzliche

³ Diese Frage wird im Kapitel 6.1.2 diskutiert.

Transport- und Infrastrukturnetze sowie durch bebaute Fläche und schlussendlich durch eine Vielfalt an Emissionen, von denen Kohlendioxid nur ein Parameter ist, und zwar nicht der einzig maßgebende. Die derzeitige Erfassung der Abfälle als CO₂ und daraus abgeleitet durch CO₂-Absorptionskoeffizienten schließt nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ deren negativen Effekt auf die Umwelt aus. Dies kann anhand von einem einfachen, aber sehr aktuellen Beispiel, der Mülldeponierung, veranschaulicht werden. Derzeit ist die Mülldeponierung weltweit immer noch als Entsorgungsverfahren stark vertreten. Obwohl die von einer Deponie verbrauchte Fläche quantitativ unbedeutend ist, kann ihre qualitative Stellung in der Umwelt resp. im Ökologischen Fußabdruck dagegen entscheidend sein. Mülldeponierung bedeutet nicht nur Bauverbot, Explosionsgefahr und Verwandlung von produktiver Fläche zu unproduktiver, sondern – und das erscheint viel wichtiger – es werden Ressourcen wie Grundwasser, Luft (Beeinträchtigung durch CO₂, FCKW- und CH₄-Emissionen) und Boden mit einem Kontaminationspotential beladen, deren Sanierung, wenn überhaupt möglich, langfristig äußerst schwierig ist. Ähnliche Überlegungen können auch für den Bereich der Abwasserreinigung in Hinsicht auf die Eutrophierung von Fließ- und v.a. von stehenden Gewässern gemacht werden. In diesem Fall geht technisch gesehen nur Wasseroberfläche verloren, tatsächlich aber können Wasserressourcen und Ökosysteme dadurch irreversibel betroffen werden. Eine Lösung für dieses methodische Problem könnte die Einführung von Reduktionskoeffizienten sein, die auch diesem qualitativen Effekt Rechnung tragen. Ein Beispiel für einen Reduktionskoeffizient wäre die durch infiltriertes Deponiesickerwasser kontaminierte Bodenfläche, in [ha/E] ausgedrückt. Diese Fläche würde den Wert des Fußabdrucks vergrößern.

2.2. Annahme von Klimastabilität

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach den klimarelevanten Treibhausemissionen (z.B. CO₂-Emissionen, die aus fossilen, d.h. nicht erneuerbaren, Energieträgern stammen). Dieses Problem wird hier gesondert diskutiert, da die Annahme von Klimastabilität ein wichtiger Ausgangspunkt in der Originalmethodik darstellt. Nach dem neuesten Wissensstand [z.B. [Baumeler et al., 1998] muss ein entsprechender Beitrag zum Globalerwärmungspotenzial (*Global Warming Potential*) mitberücksichtigt werden. Generell führen zusätzliche CO₂-Emissionen zu einer erhöhten Biomasseproduktion. Dies setzt jedoch das Vorhandensein entsprechender Biomasse und anderer Nährstoffe voraus. Weiters ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Treibhausemissionen aus CO₂ bestehen, sondern auch aus Methan, N₂O usw., die vom Wald nicht absorbiert werden können, jedoch die klimatischen Bedingungen und daher die Erneuerungsrate der Biomasse stark beeinflussen. Dies sollte sich korrekterweise entsprechend in den Grünbiomassenertragskoeffizienten (Wald) widerspiegeln. Um die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen von anderen Städten zu erhalten, wird in dieser Studie auch auf dieses Detail verzichtet. Allerdings ergibt sich daraus die Forderung, die verwendete Methodik weiterzuentwickeln.

3. Emissionen aus Güterproduktion, - import/-export und -konsum

Diese Fragestellung schließt an die beiden vorher diskutierten Punkte nahtlos an. Sie wird deshalb separat angeführt, um im Sinne der Fußabdrucktheorie eine korrekte Trennung zwischen dem Konsum und den damit verbundenen Bereichen Produktion, Import und Export einerseits und andererseits der Betrachtung der Abfallwirtschaft zu behalten. Derzeit wird der Verbrauch fossiler Energieträger in den aufgelisteten Aktivitäten nur durch das Kohlendioxid als Hauptemission berücksichtigt. Ohne auf diese Frage hier im Detail einzugehen, muss darauf hingewiesen werden, dass gegenwärtig Emissionen an z.B. Treibhausgasen, Schwermetallen und flüchtigen Kohlenstoffverbindungen auch vor dem

Güterkonsum eine der maßgebendsten Fragestellungen im modernen Umweltschutz sind. Auch in dieser Hinsicht ist eine Weiterentwicklung der Methodik notwendig.

4. Energiebilanz

Die Energiebilanz ist einer der Meilensteine bei der Anwendung dieser Methodik. Sie ist derzeit mit zwei wesentlichen Problemen verbunden, nämlich der Frage der Umrechnung von Energie in Fläche und der Frage der inkorporierten Energie in den konsumierten Gütern.

4.1. Umrechnung der Energie als CO₂-Einheiten

Eine ausschließliche Betrachtung von Energie in Form von CO₂-Einheiten ist nicht ausreichend, da damit die Eigenschaft der Energie als Ressource unberücksichtigt bleibt. Es wäre korrekter, den Energiekonsum in einer Form auszudrücken, die sowohl ihrem Wesens als Ressource als auch ihrem Flächenbedarf Rechnung trägt (z.B. als Solarenergie). Die Begründung dafür liegt darin, dass neben den materiellen Ressourcen, die der Mensch verbraucht, auch die Ressource Solarenergie existiert, die bereits in Hinblick auf die Umstellung auf eine nachhaltige urbane Entwicklung immer mehr an Bedeutung zunimmt. Die Frage nach einer geeigneten Umrechnung der Energie stellt einen der Kernteile des zweiten Abschnittes dieser Studie dar.

4.2. Berücksichtigung der inkorporierten Energie

Die Berücksichtigung bzw. die Nichtberücksichtigung der in den Gütern und Abfällen inkorporierten Energie stellt ein wichtiges methodisches Problem dar, da sie die Größe des Ökologischen Fußabdrucks wesentlich verändern kann. Es gibt mehrere mögliche Ansätze (Entropie, Heizwertbestimmung, Umrechnung auf Treibstoff- resp. CO₂-Einheiten, etc), ihre Größe zu berücksichtigen. Damit stellt sich auch die Frage, ob und wie die energetischen Rucksäcke der Gebrauchsgüter im Fußabdruckwert der zu untersuchenden Region mitgezählt werden sollen. Derzeit allerdings fehlt ein einheitliches und v.a. vollständiges Vorgehen dafür in der Methodik zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdrucks. Dies hat zur Folge, dass der Wert des Fußabdruckes für eine und dieselbe Fallstudie deutlich variieren kann.

5. Ertragskoeffizienten

Die derzeit benutzten Ertrags- und Umrechnungskoeffizienten weisen einen wesentlichen Nachteil auf, da sie rein statische Werte sind, d.h. ihre zeitliche Entwicklung nicht mitberücksichtigt wird. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, dass sie kontinuierlich aktualisiert werden müssen. Dies ist allerdings mit einem bedeutenden Datenerhebungs- und -verarbeitungsaufwand verbunden. Mittels zeitlich diskretisierter Aufnahmen könnte dabei auch ihre Entwicklung über beliebig lange Zeitintervalle deutlich verfolgt werden. Daher sollen für jeden neuen Fußabdruckwert die benötigten Daten neu erhoben werden. Eine mögliche Alternative stellt die mathematische Modellierung dar, mit derer Hilfe realitätsnähere Werte zur Verfügung gestellt werden könnten.

6. Bewertung

Die Tatsache, dass die Materialien und Ressourcen nicht in Form von Güterflüssen [Baccini & Brunner, 1991] dargestellt und entsprechend gewichtet werden, hat zur Folge, dass eine zielgerichtete Bewertung der Resultate nicht durchgeführt werden kann. Daher sind praxisorientierte Empfehlungen zur Reduktion des Fußabdruckes, resp. das Setzen von Maßnahmen und schlussendlich das Erzielen von Fortschritten im Umweltschutz, nur schwer

möglich. Hier bieten sich zwei Ebenen an, die Methodik zu erweitern: 1. Durchführung einer für die Stadt repräsentativen Datenerfassung in Form von Güterflüssen. 2. Durchführung einer gewichteten Bewertung des konkreten Fußabdruckes auf Grundlage der Material- und Energiebilanzen. Ein solches Vorgehen hätte konkrete, kostengünstige und effiziente Umweltschutzmassnahmen zur Folge.

5 Mathematische Untersuchung der Originalmethodik

Die Größe des Fußabdruckes hängt ab vom Konsum bestimmter Güter und deren Koeffizienten (Ertrags- und Absorptionskoeffizient). Die Frage, die sich stellt, ist, wie reagiert das Gesamtsystem auf Änderungen einzelner Parameter und welche Bedeutung können einzelne Güter oder deren Koeffizient für das Gesamtsystem haben? Eine weitere Frage ist, ob der Wert der inkorporierten Energie nur aufgrund zufälliger Ereignisse auftritt. Ist dies der Fall, sollte geklärt werden, ob die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten dieses Wertes eingegrenzt (gewichtet) werden kann, oder ob dies aufgrund der herrschenden Rahmenbedingungen nicht möglich ist.

In diesem Kapitel wird einerseits theoretisch mittels einer mathematischen Analyse und andererseits praktisch mit einer Sensitivitätsanalyse untersucht, welche Bedeutung einzelne Güter, bzw. Gütergruppen (inkl. Energie, bzw. inkorporierte Energie) und die dazugehörigen Ertrags- und Äquivalenzkoeffizienten auf die Höhe des Fußabdruckwertes haben können bzw. haben.

5.1 Mathematisch-kombinatorische Analyse

Mathematisch lässt sich der Ökologische Fußabdruck [Wackernagel & Rees, 1996] mit folgendem Ausdruck

$$EF = \sum_{i=1}^n f_i = \sum_{i=1}^n (a_i * k_i)$$

beschreiben, wobei die Bezeichnungen, wie folgt lauten:

- f_i – i -te Einzelflächenkomponente, resultierend vom Konsum des i -ten Gutes [ha/E];
- a_i – Umrechnungskoeffizient für Fläche oder Energie für das i -te Gut, üblicherweise⁴ [ha/t] resp. [GJ/t];
- k_i – Konsum des i -ten Gutes, [t/E];
- i – Nummer (Spezifikation) des konsumierten Gutes.

Hier werden mit dem Begriff „Gut“ sowohl materielle Güter als auch Energie bezeichnet.

In der Praxis wird mit einer endlichen Zahl i von konsumierten Gütern gearbeitet, welche zur Bestimmung von einem Minimalwert des Fußabdrucks führt, wie in Kapitel 4.1 erwähnt. Dies hat für den Fußabdruckwert eine außerordentlich große Bedeutung. Je mehr Werte (Konsumgüter) der Fußabdruckwert beinhaltet, desto vollständiger ist er, und desto kleiner wird theoretisch die Rolle jeder einzelnen Kategorie für den Gesamtwert – vorausgesetzt, dass die Häufigkeit aller Werte gleich groß bleibt. Gleichzeitig aber führt die Verwendung einer endlichen Anzahl von Kategorien dazu, dass sich die einzelnen Kategorien an der Gewichtung des Gesamtwertes beteiligen⁵. Diejenigen Glieder der Reihe spielen bei

⁴ Die Dimension kann eine andere sein, falls der Konsum anders als in [t/E] zu messen ist, wie z.B. der Konsum von Holz, angegeben in manchen Studien als [m³/E].

⁵ Das heißt, mathematisch kann der Ökologische Fußabdruck nicht mit einer numerischen Reihe approximiert werden.

gleicher Häufigkeit für die Größe dieses Wertes die entscheidende Rolle, die in der Gewichtung der Summe die höchsten Teilwerte **MAX_j** angeben:

$$\text{MAX}_j = \frac{a_j * k_j}{\sum_{i=1}^n (a_i * k_i)}$$

wo *j* die Nummer des jeweiligen Gliedes der Summe bezeichnet, das den Wert der Summe am stärksten verändert, wobei der Begriff „starke Veränderung“ in den folgenden Absätzen definiert und diskutiert wird. Da für jedes untersuchte Objekt die Konsumliste variiert, ist dadurch auch die Anzahl (d.h. der Bereich, worin sich *j* bewegt) unterschiedlich. Die Frage, ob und welche Kategorie auf den Fußabdruckwert einen Einfluss hat, lässt sich durch die folgenden neun Möglichkeiten beschreiben, wie aus dem kombinatorischen Rechnen bekannt:

Konsumwert	Umrechnungskoeffizient für Fläche resp. Energie		
	<i>k_j</i> klein	<i>k_j</i> mittel	<i>k_j</i> groß
<i>a_j</i> klein	-	-	?
<i>a_j</i> mittel	-	?	?
<i>a_j</i> groß	?	?	x

Tabelle 5-1: Mögliche Kombinationen für das Auftreten von **MAX_j**

Die Bezeichnungen „klein“, „mittel“ und „groß“ lassen sich nur im Fall der Flächen- resp. Energiekoeffizienten definieren, da der Konsum praktisch unbeschränkt resp. nicht in einem bestimmten Intervall definierbar ist und unabhängig von den Umrechnungskoeffizienten bleibt. Als Beispiel wird das Wertintervall der energetischen Koeffizienten genommen. Das Intervall, worin sich die energetischen Koeffizienten zur Berechnung der inkorporierten Energie für Österreich bewegen, wird von Wackernagel [Wackernagel et al., 1997] folgendermaßen benutzt:

$$a_j \in [1.5; 150] \text{ GJ/t.}$$

Aufgrund des Mangels an anderen Bewertungskriterien, werden die energetischen Koeffizienten kleiner als 50 GJ/t als „klein“ betrachtet, diejenigen, die gleich oder größer als 100 GJ/t sind, als „groß“, und die im Bereich [50; 100) GJ/t – als „mittel“. Logischerweise werden die Glieder, die für beide *a_j* und *k_j* aus „kleinen“ Werten, zusammengesetzt sind, keinen entscheidenden Einfluss auf den Gesamtwert ausüben. Offensichtlich wäre aber die Kombination „*a_j* groß und gleichzeitig *k_j* groß“ eine der entscheidenden. Die übrigen Möglichkeiten (markiert mit Fragezeichen in der Tabelle) und ihr Wechselspiel mit der bereits erwähnten Kombination können nur teilweise analysiert werden, da, wie gerade aufgeführt, sich im voraus kein Wertintervall für den Konsum definieren lässt. **Maßgebend dafür sind dabei nicht nur die Werte, die gleichzeitig von *a_j* und *k_j* eingenommen werden, sondern auch ihre numerische Verteilung**, d.h. die Anzahl der jeweiligen Kombinationen und daher ihre Summe. Diese Analyse lässt sich – vereinfacht, in ihrem ersten Schritt - auf eine Kombination von vier Elementen achter Klasse beschränken, wodurch die Auswirkung jedes dieser Elemente (Summengliedergruppen) auf die Gesamtsumme ersichtlich wird:

Element	Symbol	Klasse (Kombinierungsmöglichkeit)	Gewicht in der Gesamtsumme
a_i mittel * k_j mittel	MM	$\Sigma(MM) > \Sigma(GM) + \Sigma(MG) + \Sigma(GG)$	MM-Glieder > 50%
		$\Sigma(MM) \leq \Sigma(GM) + \Sigma(MG) + \Sigma(GG)$	MM-Glieder \leq 50%
a_i groß * k_j mittel	GM	$\Sigma(GM) > \Sigma(MM) + \Sigma(MG) + \Sigma(GG)$	GM-Glieder > 50%
		$\Sigma(GM) \leq \Sigma(MM) + \Sigma(MG) + \Sigma(GG)$	GM-Glieder \leq 50%
a_i mittel * k_j groß	MG	$\Sigma(MG) > \Sigma(MM) + \Sigma(GM) + \Sigma(GG)$	MG-Glieder > 50%
		$\Sigma(MG) \leq \Sigma(MM) + \Sigma(GM) + \Sigma(GG)$	MG-Glieder \leq 50%
a_i groß * k_j groß	GG	$\Sigma(GG) > \Sigma(MM) + \Sigma(MG) + \Sigma(GM)$	GG-Glieder > 50%
		$\Sigma(GG) \leq \Sigma(MM) + \Sigma(MG) + \Sigma(GM)$	GG-Glieder \leq 50%

Tabelle 5-2: Kombinatorische Analyse der Summenglieder

Offensichtlich kontrollieren diejenigen Elemente den Wert der Gesamtsumme am stärksten, derer Untersumme mehr als 50 % der Gesamtsumme beträgt.

Falls keines dieser Elemente die Bedingung „größer als 50 % der Gesamtsumme“ erfüllt, wird die Analyse dieses Problems in ihrem zweiten Schritt auf die Kombinationen der Art

$$\Sigma(MM) + \Sigma(GG) > \Sigma(GM) + \Sigma(MG)$$

übertragen, welches zur analogen Untersuchung weiterer zwölf Kombinationen führt. Diese Analyse allein stellt kein Problem dar. Die Schwierigkeit liegt darin, dass der Wertintervall von k_j nicht im voraus bekannt ist. Mit anderen Worten, **das Auftreten und die Verteilung einer oder mehrerer dieser Kombinationen gleichzeitig ist rein zufällig, da keine Gewichtung der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens definiert werden kann.** Über die Rolle dieser Kombinationen im Fußabdruckwert kann nur direkt aus der Sensitivität der Werte in der jeweiligen Untersuchung geschlossen werden. Dabei ist hier die wichtigste Frage, was das Kriterium für eine starke Veränderung ist. Ausgegangen wird davon, dass sich die Genauigkeit bei regionalen oder urbanen Studien im Bereich (-20 %; +20 %) bewegt. In diesem Fall wird als Maßstab (untere Grenze) für den Einfluss einzelner Gliedwerte auf die Gesamtsumme eine durch ein Einzelglied hervorgerufene Veränderung der Gesamtsumme von mindestens 40 % angenommen. Das heißt, dass jedes der Einzelglieder, die den Gesamtwert um 40 oder mehr Prozent erhöhen bzw. wenn nicht berücksichtigt - verringern, als wertbestimmende Glieder betrachtet werden:

$$\mathbf{MAX}_j = a_j * k_j > 0,40 * \sum_{i=1}^n (a_i * k_i)$$

Prinzipiell sollte diese mathematische Gewichtung die tatsächliche Bedeutung der einzelnen Komponenten des Fußabdruckes widerspiegeln. Dies ist allerdings nur unter der Bedingung erfüllt, dass **der berücksichtigte Datensatz der Realität bzw. dem realen Konsum der untersuchten Region oder Stadt entspricht.** Im Falle von mangelnden oder unplausiblen Daten besteht dadurch die Gefahr, dass der Fußabdruckwert stark verzerrt wird und vom wahren Bild abweicht: wie bereits erwähnt, ist die Anzahl dieser wertbestimmenden Güterkategorien für jeden Einzelfall spezifisch, d.h., es kann nicht im voraus gesagt werden, welche Güter die entscheidende Rolle für den Wert spielen werden. Das Wichtigste dabei ist aber, dass **der Konsum allein nicht bestimmend ist, sondern das Produkt aus dem Konsum und dem Flächenkoeffizienten.** Dies bedeutet, dass diejenigen Güter den Fußabdruckwert kontrollieren, für welche entweder der Umrechnungskoeffizient oder der Gutkonsum oder beides gleichzeitig groß genug sind, um

mindestens 40 % des Fußabdruckwertes zu betragen. Wie gezeigt, die Kernfrage ist, ob es sich in solchen Fällen um eine gerechtfertigte Abbildung der Realität oder um eine rein zufällige (mechanische) Kombination der Größen von Gutkonsum und Umrechnungskoeffizienten handelt. **Der zweite Grund, der die These bestärkt, dass die Kombination „gleichzeitige maximale Werte des Koeffizienten und des Konsums“ zufällig auftritt, ist, dass kein funktioneller Zusammenhang zwischen den beiden Größen besteht.**

Diese Überlegungen werden am Beispiel einer Sensitivitätsanalyse des im ersten Teil der Arbeit berechneten Fußabdruckwertes von Wien im folgenden Kapitel illustriert.

5.2 Sensitivitätsanalyse des Fußabdrucks nach der Originalmethodik

Mittels einer Sensitivitätsanalyse werden die Komponenten „ direkter Flächenverbrauch“, „inkorporierte Energie“, „Energie“ und der beiden Koeffizienten (Absorptionskoeffizient, Äquivalenzkoeffizient) hinsichtlich ihrer Sensibilität für den Fußabdruckwert von Wien untersucht. Damit ergeben sich fünf Szenarien, die in der folgenden Tabelle aufgelistet und anschließend graphisch (siehe Abbildung 5-1) dargestellt werden:

Ökologischer Fußabdruck von Wien, berechnet nach der Originalmethodik		
	in [ha/E.a]	3,9
Variierter Parameter	Ökologischer Fußabdruck von Wien in [ha/E]	Effekt auf den Fußabdruckwert in [%]
1. -20 % direkter Flächenverbrauch	3,5	-8,6 %
2. -20 % inkorporierte Energie in Gebrauchsgütern	3,8	-2,9 %
3. - 20 % Energie	3,6	-8,2 %
4. - 20 % Absorptionskoeffizient	4,4	+13,9 %
5. - 20 % Äquivalenzkoeffizient	3,1	-20,0 %

Tabelle 5-3: Sensitivitätsanalyse des Ökologischen Fußabdrucks der Stadt Wien: Variierte Parameter und deren Auswirkung auf den Fußabdruckwert.

a. Reduktion des unmittelbaren Flächenverbrauchs von Wien um 20 %:

Der unmittelbare Flächenverbrauch trägt etwa 45 % zum Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien bei. Die ursprünglichen Werte, die den unmittelbaren Flächenbedarf von Wien decken (Tabelle A1), werden um den Faktor 0,2 reduziert (Tabelle A11). Der davon resultierende Wert für den Fußabdruck von Wien reduziert sich um 8,6 %. Der unmittelbare Flächenbedarf ist nach den Absorptionskoeffizienten und den Äquivalenzkoeffizienten die dritt-wichtigste Komponente für die Größe des Ökologischen Fußabdrucks.

b. Reduktion der inkorporierten Energie um 20 %:

Die inkorporierte Energie trägt etwa 13 % zum Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien bei. Bei einer Reduktion der gesamten inkorporierten Energie um 20 % geht der Fußabdruckwert um 2,9 % zurück. Die inkorporierte Energie ist keine entscheidende Komponente für die Größe des Fußabdrucks.

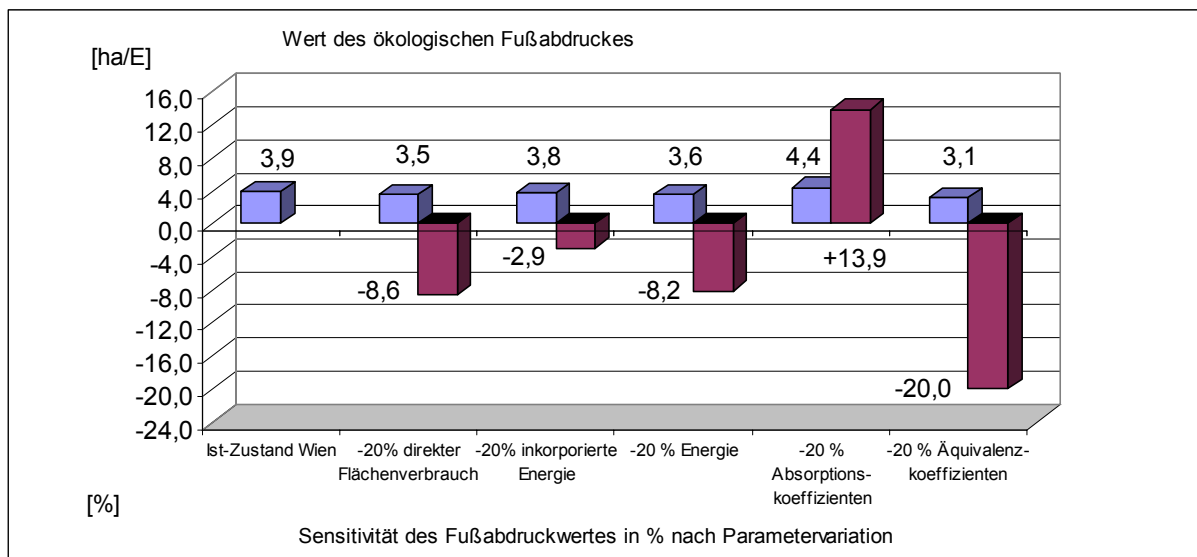


Abbildung 5-1: Sensitivitätsanalyse des Ökologischen Fußabdrucks der Stadt Wien, berechnet nach der Originalmethodik

c. Reduktion der Energie um 20 %:

Die Energie trägt etwa 36 % zum Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien bei. Wird die Energie um 20 % reduziert, geht der Fußabdruckwert um 8,2 % zurück. Damit ist die Energie neben den Koeffizienten die wichtigste Komponente für die Größe des Fußabdrucks.

d. Reduktion der Absorptionskoeffizienten um 20 %:

Mit Hilfe der Absorptionskoeffizienten werden die Energiekomponenten in Fußabdruckfläche umgerechnet. Der Koeffizient gibt an, wie viel Fläche Wald notwendig ist, um die jeweilige Energiekomponente (z.B. flüssige Brennstoffe) absorbieren zu können. Eine Reduktion dieses Koeffizienten bedeutet, dass mehr Waldfläche zur Absorption notwendig wäre. Werden alle Absorptionskoeffizienten um 20 % reduziert, nimmt der Fußabdruckwert um 14 % zu. Damit spielen die Absorptionskoeffizienten eine zentrale Rolle für die Größe des Fußabdrucks.

e. Reduktion der Äquivalenzkoeffizienten um 20 %:

Mit Hilfe der Äquivalenzkoeffizienten werden die Fußabdruckkomponenten (z.B. Ackerfläche) nach ihrer Fähigkeit Biomasse zu produzieren, beurteilt und gewichtet. Eine Reduktion dieses Koeffizienten bedeutet, dass die Fähigkeit Biomasse zu produzieren, abnimmt. Werden alle Äquivalenzkoeffizienten um 20 % reduziert, nimmt der Fußabdruckwert um 20 % ab. Damit sind auch die Äquivalenzkoeffizienten von zentraler Bedeutung für die Größe des Fußabdrucks.

Aufgrund der mathematischen Untersuchung und der Sensitivitätsanalyse können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Allgemeine Schlussfolgerungen:

- Der Fußabdruckwert ergibt sich als eine zufallsbedingte Überlappung der Produkte voneinander funktionell unabhängiger Parameter.
- Es kann nicht vorhergesagt werden, welche Kategorie ausschlaggebend für den Gesamtwert des Fußabdrucks wäre, da der Konsum allein nur von sekundärer Bedeutung ist.
- Für jeden konkreten Fall (Fußabdruck einer Stadt, Region oder Land) müssen die Ertrags-, Absorptions- und Äquivalenzkoeffizienten spezifisch ermittelt werden: eine Übertragung systemfremder Daten kann zu fehlerhaften Ergebnissen führen.

Projektbezogene Schlussfolgerungen:

- Auf Änderungen der Absorptions- und Äquivalenzkoeffizienten reagiert das System am sensibelsten, d.h. die beiden Koeffizienten haben einen entscheidenden Einfluss auf die Größe des Fußabdrucks.
- Die Energie ist ebenfalls ein wesentlicher Parameter. Die Auswirkungen auf Änderungen sind zwar nicht so stark wie bei den Koeffizienten, aber dafür ist Energie ein direkt steuerbares Gut.
- In Summe reagiert das Gesamtsystem auf Änderungen des direkten Flächenverbrauches ähnlich wie bei der Energie. Da sich diese Zahl aus der Summe aller konsumierten Güter zusammensetzt, ist ihre Sensibilität als viel geringer einzustufen.

6 Modifizierte Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks der Stadt Wien

In diesem zweiten Teil der Studie wird ein modifizierter Ökologischer Fußabdruck von Wien berechnet. Die Originalmethodik wird aufgrund des eigenen theoretischen Beitrages modifiziert und als solche in den folgenden Berechnungen angewendet. Die Weiterentwicklung der Methode betrifft die Datenerfassung, die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft und die Energiekomponente des Fußabdrucks.

Der modifizierte Ökologische Fußabdruck von Wien basiert nicht mehr auf einem standardisierten Verbrauch, sondern auf einer an den Wiener Konsumverhältnissen angepassten Güterliste.

Im modifizierten Fußabdruck von Wien wird auch den volumetrischen Ressourcen (Gestein, Erdöl als Rohstoff betrachtet) und den deponierten Abfällen Rechnung getragen. Das Vorgehen für ihre Berücksichtigung stellt eine zusätzliche Erweiterung der Originalmethodik dar.

Die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft erfolgt zusätzlich auch auf Emissionsebene und deren Auswirkung auf die Umwelt. Dies führt zu einer vollständigeren Erfassung der Abfälle und stellt den ersten Schritt zur Einführung von Flächenreduktionskoeffizienten dar, welche – analog den Ertragskoeffizienten bei der Produktion – die tatsächlichen Flächenverluste (d.h. den zusätzlichen Flächenverbrauch) aufgrund der Kontamination von Boden, Wasser und Luft durch die Abfallwirtschaft widerspiegeln.

Im Gegensatz zur Originalmethodik wird auf die Annahme für Klimastabilität verzichtet. Obwohl der Rahmen dieses Projektes die Entwicklung eines theoretischen Ansatzes zur vollständigen Berücksichtigung innerhalb des Ökologischen Fußabdruckes von den Auswirkungen des urbanen Metabolismus auf das Klima nicht erlaubt, wird ein erster Schritt in diese Richtung gemacht, wobei die klimarelevanten Emissionen (Treibhausgas-Emissionen = THG-Emissionen) der Stadt als Beitrag zum Globalerwärmungspotential (Global Warming Potential, GWP) umgerechnet werden.

Die Erfassung der Ressource Energie erfolgt in Form von Solarenergieeinheiten. Damit wird eine umfassendere Darstellung der Energie als Fläche ermöglicht, als dies vergleichsweise bei einer ausschließlichen Umrechnung in CO₂-Einheiten der Fall wäre. Parallel dazu werden die beim Einsatz fossiler Brennstoffe entstandenen THG-Emissionen als Beitrag zum GWP berücksichtigt.

Es wird auf das Konzept der inkorporierten Energie verzichtet, da die energetischen Rucksäcke der nettoimportierten Güter aufgrund der Datenstruktur im Bundesland Wien nur mit großem Aufwand ermittelt werden können.

Diese Vorgehensweise erlaubt, einen umfassenderen Fußabdruck zu berechnen, dessen Wert damit auch besser den tatsächlichen Verhältnissen von Wien entspricht. Die verwendeten Ansätze sollen als Diskussionsgrundlage für eine Erweiterung der Originalmethodik dienen.

Parallel dazu erfolgt eine Gegenüberstellung des Originalinstrumentes und der modifizierten Methodik, miteingeschlossen ist eine Sensitivitätsuntersuchung und eine mathematischen Analyse.

6.1 Modifizierte Methodik zur Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks von Wien

Die Ausgangspunkte, worauf die Modifizierung der Berechnung des Ökologischen Fußabdruckes in dieser Arbeit basieren, werden im folgenden kurz aufgeführt, um die davon abgeleitete methodische Erweiterung anschaulicher darzustellen.

1. Allgemeine Problemstellen der Methodik bzw. ihrer derzeitigen Anwendung

- 1.1. Datenerfassung der in Betracht gezogenen Güter
- 1.2. Erfassung von volumetrischen Ressourcen
- 1.3. Berücksichtigung der Abfallwirtschaft
 - 1.3.1. Abwasser, Abfall und Abgas als eigene Güterkategorien
 - 1.3.2. Klimabezogene Emissionen
- 1.4. Erfassung von Energie

2. Methodische Problemstellen im Hinblick auf den Ökologischen Fußabdruck von Wien

- 2.1. Benutzung von landesspezifischen Ertragskoeffizienten für eine Stadt
- 2.2. Konzept der inkorporierten Energie

Die Weiterentwicklung der Originalmethodik in Bezug auf jeden dieser Parameter, und damit die Grundlagen zur Bestimmung eines umfassenderen Fußabdruckwertes, werden im einzelnen diskutiert. Im zweiten Teil dieser Arbeit werden **die folgenden methodischen Ergänzungen** vorgenommen, aufgrund deren ein zweiter Ökologischer Fußabdruck von Wien berechnet wird. Diese sind:

6.1.1 Datenerfassung der in Betracht gezogenen Güter

Die Benutzung einer vereinheitlichten Güterliste erlaubt es nicht, die Besonderheiten der konkreten Region in Betracht zu ziehen. Die Bedeutung der Güterwahl und deren Auswirkungen für den Wert des Fußabdruckes werden im Kapitel 6.3 detailliert analysiert.

Für den modifizierten Ökologischen Fußabdruck von Wien werden die für die Stadt spezifischen Güter gewählt. Diese basieren auf den Ergebnissen des Projektes PILOT [Daxbeck et al., 1996] für die massenmäßig bedeutendsten Konsumbereiche in Wien, und werden mit der von Wackernagel [Wackernagel et al., 1997] aufgeführten Güterliste kombiniert. Damit wird ein Kompromiss erreicht, der sowohl die Anforderungen der Originalmethodik als auch das individuelle Konsumverhalten von Wien berücksichtigt. Dabei werden die Güter einerseits als Gebrauchsgüter (Produkte) und andererseits als Abfälle (Emissionen und urbane Sedimente) berücksichtigt.

Laut der Studie PILOT [Daxbeck et al., 1996] sind die massenmäßig wichtigsten Branchen in Wien die Landwirtschaft, die chemische Industrie, die Bauwirtschaft und die Forstwirtschaft.

Die Güterliste der Originalmethodik kann dem Kapitel 3.2 (Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2) entnommen und mit der adaptierten Güterliste verglichen werden. Die adaptierte Güterliste berücksichtigt damit die folgenden Konsumgüter:

Kategorie:	
LANDWIRTSCHAFT	
Tierprodukte	Pflanzliche Produkte
Kalbs- und Rindfleisch	Getreide (Summe)
Schweinefleisch	Reis
Geflügel	Hülsenfrüchte (Erbsensorten, Bohnen, Sojabohnen)
Wurst- und Selchwaren	Kartoffeln
Milch	Pflanzenöl
Rahm und Butter	Tierfutter
Käse	Feldgemüse
Eier	Zucker
Fisch	Wein
Pelz und Leder, -produkte	Steinobst
Wolle	Kern- und Schalenobst
Tierische Fette und Öle	Beerenobst
Sonstiges Fleisch	Obst (Summe)
	Baumwolle
	Nichtalkoholische Getränke
	Fruchtkonserven
	Kaffee und Tee
	Kakao
	Tabak
	Kautschuk

Tabelle 6-1: Modifizierte Konsumgüterliste für den Bereich Landwirtschaft

Kategorie	
FORSTWIRTSCHAFT	BAUINDUSTRIE
Nutzholz	Zement
Brennholz	Sand und Kies
Pulpe	Stahl
Papier und Pappe	Aluminium, Zink, Kupfer – nicht erfasst
Sägeholz	
Hygieneerzeugnisse	CHEMISCHE INDUSTRIE
Möbel	Kunststoffe (Erdöl)
Bauholz	Chemische Erzeugnisse auf Erdölbasis

Tabelle 6-2: Modifizierte Konsumgüterliste für die Bereiche Forstwirtschaft, Bauindustrie und Chemische Industrie

Die Kategorien der Bauwirtschaft werden nicht unter der Flächenbuchhaltung, sondern unter der Buchhaltung der volumetrischen Ressourcen erfasst, die Begründung befindet sich im Kapitel 6.1.2.

Im modifizierten Fußabdruck von Wien **werden folgende Kategorien**, trotz ihres möglicherweise wesentlichen Anteils am städtischen Metabolismus und infolgedessen auch am Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien, **nicht berücksichtigt**: chemische (Ausnahme: Kunststoffe und auf Erdöl basierte chemische Erzeugnisse), elektrische und elektronische Erzeugnisse sowie Gebrauchsgüter wie Personenwagen. Der Grund dafür liegt darin, dass der Ressourcenanteil der Güter praktisch schwer erfassbar ist, bzw. dass es derzeit methodisch noch keine Ertrags- bzw. Flächenumrechnungskoeffizienten zur Darstellung der „Summenparameter“ als Fläche erarbeitet worden sind.

6.1.2 Erfassung von volumetrischen Ressourcen

In diese Kategorie fallen beispielsweise die Baurohstoffe (gewonnen durch Gesteinsabbau, Erdölförderung zur nichtenergetischen Nutzung) oder abgelagerte Abfälle und MVA-Schlacken. Die Nichtberücksichtigung von volumetrischen Ressourcen und Gütern im Ökologischen Fußabdruck, die eine maßgebende Rolle im städtischen Metabolismus spielen, und sich nicht als Fläche darstellen lassen, führt zu einer unvollständigen Abbildung des urbanen Konsums.

Die Möglichkeiten, diese Kategorien als Fläche umzurechnen, umfassen:

- a) Ausschließliche Berücksichtigung der verbrauchten Oberfläche (z.B. von einer Deponie, von einem Tagebau für Schotter).

Dieses Vorgehen, auch wenn formell durchaus im Sinne der Originalmethodik, entspricht allerdings nicht dem tatsächlichen Ressourcenverbrauch, da die Oberfläche in diesem Fall kein flächenfunktionell bedingter Parameter ist. Daher kann er nicht verwendet werden.

- b) Approximierung des in Anspruch genommenen Volumens (Gestein, fossile Energieträger zur nichtenergetischer Nutzung, und Müllablagerungen) durch Division einer Sedimentfläche mit einer repräsentativen Schichtmächtigkeit.

Hier stellt sich die Frage nach der Wahl einer repräsentativen Schichtmächtigkeit. Allein in Wien, in einem Abstand von Hietzing bis Karlsplatz, variiert die Mächtigkeit der natürlichen Sedimente von 3,5 bis 5,0 km [Rohatsch, 1999]. Solch eine Bandbreite erlaubt es nicht, einen aussagekräftigen Durchschnittswert zu wählen. Daher wird auch diese Vorgehensweise ausgeschlossen.

Weder die Originalmethodik noch Approximationsansätze können eine Lösung für dieses Problem bieten. Daher **wird ein Erweiterungsparameter** zur Originalmethodik definiert, und zwar **die Tiefe des Ökologischen Fußabdruckes**. Die Tiefe des Ökologischen Fußabdruckes beinhaltet die Summe der volumetrischen Ressourcen Gesteine und Erze und der urbanen Sedimente (Ablagerungen wie Deponiegut, MVA-Schlacken).

Definition

Die Tiefe des Ökologischen Fußabdruckes D_{EF} ergibt sich durch

$$D_{EF} = \frac{\text{volumetrische Naturressourcen + urbane Ablagerungen (Deponien)}}{\text{Ökologischer Fußabdruck} * 10.000}$$

und hat die Dimension $[m/ha_{EF}]$.⁶

Analog dem Ökologischen Fußabdruck kann die Fußabdrucktiefe pro Einwohner berechnet und als $[m/ha_{EF}.E]$ ausgedrückt werden.

Es stellt sich die Frage, warum die Summe - und nicht die Differenz - zweier Kategorien verwendet wird, die grundsätzlich das Gegenteil voneinander sind. Es besteht die Tendenz, Mülldeponien als zukünftige Rohstoffquelle zu betrachten (Lichtensteiger, zitiert von [Brunner, 1999]), und daher wäre eine Gegenüberstellung beider Volumina durchaus logischer [Rohatsch, 1999]. Allerdings ist diese Hypothese derzeit noch nicht zu einem anwendbaren Ansatz ausgereift, und aus diesem Grund wird darauf verzichtet, d.h. man rechnet mit „+“ in der obigen Gleichung.

Als Gesamtwert ist die Fußabdrucktiefe für einen direkten Vergleich mit anderen Regionen nicht geeignet. Die Vergleichbarkeit wird durch Umrechnung der Fußabdrucktiefe, analog dem Fußabdruck, in $[ha/E]$ erzielt.

6.1.3 Berücksichtigung der Abfallwirtschaft

Die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft basiert auf der Idee, dass Abfälle als nach ihrem Verbrauch ausgesonderte Konsumgüter zu betrachten sind, und daher eine eigene Güterkategorie darstellen [Baccini & Brunner, 1991]. Die Güterkategorie „Abfälle“ ist im Vergleich zu den ursprünglichen Konsumgütern durch unterschiedliche Eigenschaften und Anforderungen charakterisiert. Grundsätzlich sollten die Konsumgüter in ihrem vollständigen Lebenszyklus von der Produktion bis zu ihrer Entsorgung bzw. Endlagerung erfasst werden, d.h. die festen, flüssigen und gasförmigen Abfälle müssen ihren Platz im Ökologischen Fußabdruck als eigene Kategorie finden.

Es wäre sinnvoll, die Abfallwirtschaft im Ökologischen Fußabdruck durch ihre zwei Hauptbereiche Abfalltransport und -entsorgung zu berücksichtigen. Der Transport ist durch den Konsum an fossilen Energieträgern beteiligt. Dieser ist in der Energiebilanz beider Fußabdruckwerte inkludiert. Die Abfallentsorgung trägt den Auswirkungen auf die Umwelt, d.h. Reduktion der natürlichen Ressourcen resp. Freilassung von Emissionen, Rechnung. Im Ökologischen Fußabdruck soll die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft konkret die festen, flüssigen und gasförmigen Abfälle umfassen und mit den natürlichen Ressourcen Luft, Wasser und Boden [Baccini & Brunner, 1991] verknüpft werden. Zusätzlich ist der Beitrag der Abfallwirtschaft zu emissionsbedingten Phänomenen, wie z.B. dem Globalerwärmungspotential (GWP), und zur Energieproduktion (beispielweise Fernwärmeproduktion) miteinzubeziehen.

⁶ Für diese Umrechnung sollen das Volumen statt in $[m^3]$ in $[m.ha]$ ausgedrückt werden, was in den Umrechnungskoeffizienten $10.000 m^2/ha$ resultiert.

Nachfolgend sind die wichtigsten Ausgangspunkte für die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft zusammengefasst:

Luft:

Die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) sowie die durch Waldflächen zu absorbierende Menge an klimarelevantem Kohlendioxid, die durch Abfall- und Abwasserbehandlung und den menschlichen Metabolismus entstehen, werden als Luftbeeinträchtigung im Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien berücksichtigt.

Konkret soll die Einbeziehung der THG-Emissionen einen ersten Schritt darstellen, um zukünftig Reduktionskoeffizienten einführen zu können. Dies würde eine realitätsnähere Berücksichtigung der durch den menschlichen Güterkonsum kontaminierten Flächen erlauben. Das Einschließen des klimaneutralen Kohlendioxids dient zur Vervollständigung des direkten (Wald)Flächenverbrauchs der Stadt.

Boden:

Die Auswirkungen auf die Ressource Boden werden durch den Konsum von volumetrischen Ressourcen sowie durch die zur Ablagerung von festen Abfällen benötigten Volumina berücksichtigt.

Wasser:

Für die Ressource Wasser wird angenommen, dass die unmittelbar verbrauchten Wassermengen über die Abwasserreinigungsanlagen vollständig der Natur zurückgeführt werden. Die dabei anfallenden Verschmutzungsfrachten sind in der Abfallwirtschaft durch den Klärschlamm inkludiert. Das bestehende Lager wird durch die Erfassung der Getränke berücksichtigt. Die industriell verursachten Wasserverluste werden außer Acht gelassen.

Da die Vorgehensweise des Ökologischen Fußabdruckes und nicht die Methode der Stoffflussanalyse im Vordergrund steht, die abfallwirtschaftlichen Komponenten werden nicht direkt zu den natürlichen Ressourcen, sondern zu den Flächen-, volumetrischen und energetischen Bestandteilen des Fußabdruckes gezählt. Daher wird die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft am Ökologischen Fußabdruck in diesem zweiten Abschnitt der Studie in der folgenden Struktur untergliedert:

Ressource	Abfallwirtschaftliche Komponente	Stoffflussanalyse	Original Öko. Fußabdruck	Modifizierter Öko. Fußabdruck
Luft	Abgas	Emission; GWP	-	Waldfläche
Boden	Feste Abfälle (Deponien)	Schwermetalle, Salze, Lager	-	Bodenvolumen
	Diffuse Emissionen	Schwermetalle, Lager	-	derzeit nicht erfasst
Wasser	Abwasser	Feststoffe, CSB, Schwermetalle, Nährstoffe; Klärschlamm	-	Wasservolumen (Konsum), Eutrophierung, Klärschlamm (Bodenvolumen)

Tabelle 6-3: Zuordnung der abfallwirtschaftlichen Komponenten in der Stoffflussanalyse, in der Originalmethodik und in der Modifizierten des Ökologischen Fußabdrucks

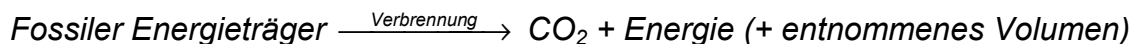
Nicht berücksichtigt bleibt auch im modifizierten Fußabdruck eine wesentliche Komponente des städtischen Metabolismus, und zwar die Auswirkung der diffusen Emissionen der Stadt. Ihre Erfassung ist derzeit Thema einer an der TU-Wien, am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft durchgeführten Dissertation [Oberosterer, in Bearbeitung].

6.1.4 Energieerfassung im Modifizierten Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien

Die Energie erweist sich als eine der wichtigsten Komponenten des Fußabdruckwertes. Aus diesem Grund sind die folgenden Kapitel den Fragestellungen Aufteilung und Berücksichtigung der Energie gewidmet. Damit werden die unmittelbaren Aspekte der Energiethematik diskutiert, die theoretisch und direkt mit der Bestimmung des Modifizierten Fußabdruckwertes von Wien im Zusammenhang stehen.

Als schwieriges methodisches Problem in der Originalmethodik zeichnet sich die Erfassung von Energie resp. Energieressourcen und ihre Übertragung auf Fläche ab. Der Grund dafür liegt v.a. darin, dass die Ermittlung des Fußabdruckwertes nicht in einem klar differenzierten System durchgeführt wird: in der Originalmethodik wird Energie nichtenergetischen Ressourcen gleichgestellt (CO₂ und Waldfläche) und umgekehrt (fossile Energieträger gleich Energie). Ein Versuch, dies zu kompensieren, stellt die Berücksichtigung der inkorporierten Energie dar. In diesem Zusammenhang ist die Tatsache von Bedeutung, dass ein einheitliches Konzept für die Energieerfassung und -übertragung und der dabei entstehenden Emissionen in der Originalmethodik fehlt.

Ein mögliches Vorgehen ist, vom Umwandlungsprozess auszugehen und alle Edukte und Produkte in Betracht zu ziehen. Der Einsatz von fossilen Energieträgern zur **Energiegewinnung** lässt sich mit der folgenden Prozessgleichung beschreiben:



In der Originalmethodik wird praktisch nur die CO₂-Komponente mitgezählt, nicht aber die Ressource Energie, auch wenn zwischen den einzelnen fossilen Energieträgern in Hinsicht auf ihre CO₂-Emissionskapazität deutlich unterschieden wird. Je nach Energieträger sind die CO₂-Emissionen proportional der freigesetzten Energie, was in der Originalmethodik berücksichtigt wird, allerdings sind sie nicht identisch.

Um eine realitätsnähere Erfassung sowohl des Energieverbrauchs als auch der damit verbundenen Emissionen zu gewährleisten, werden in dieser Studie die zwei Produkte der Energienutzung separat erfasst: das Kohlendioxid, welches beim Verbrennen von fossilen Energieträgern beim Transport (Treibstoffen) in klimarelevanten Emissionen resultiert [Baumeler et al., 1998], wird als Beitrag zum Globalerwärmungspotential (GWP) untersucht. Es entspricht damit der tatsächlichen Auswirkung bei der Verwertung von fossilen Energieträgern. Die beim Transport entstandenen CO₂-Emissionen werden dann gemeinsam mit den klimarelevanten Emissionen der Abfallwirtschaft in Betracht gezogen.

Die übrigen Energieträger, mit Ausnahme der zum Transport verbrauchten Treibstoffe, werden als energetische Ressource erfasst, und zwar als Solarenergie, womit auch ihre Übertragung in Fläche ermöglicht wird. Die Solarenergie als Referenz wird außerdem auch aus dem Grund gewählt, da diese Energieversorgungsform derzeit als eine Alternative zur Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen gesehen wird.

Gleichzeitig wird auf das Konzept der inkorporierten Energie verzichtet, und zwar aus den folgenden Gründen:

1. Die Berücksichtigung der inkorporierten Energie führt zu einer Doppelzählung der Energie, da die Güterflüsse von und nach Wien es nicht erlauben, die inkorporierte Energie der in der Stadt konsumierten Güter eindeutig zuzuordnen. Die inkorporierte Energie enthält die Transportenergie nur dann in sich, wenn es sich um direkt aus dem Ausland nach Wien importierte Güter handelt. Für die inländischen Güter ist diese Abgrenzung nicht möglich. Dieses Problem lässt sich nicht vermeiden, auch wenn man diesen Wert als Differenz zwischen dem Totalenergieverbrauch und den übrigen berücksichtigten Energiekategorien ermittelt, weil die Aufschlüsselung (aufgrund verfügbarer Daten) nicht alle Kategorien in Wien erfasst. Daher könnte man hier sowohl dem inländischen Transport als auch dem Außenhandel keinen eindeutigen Wert zuordnen.
2. Ein weiterer Aspekt besteht darin, dass das Konzept der inkorporierten Energie die Energiebilanz mit den energetischen „Rucksäcken“ der betrachteten Güter belastet. Auch wenn ein solches Vorgehen prinzipiell nicht unberechtigt wäre⁷, ist eine realistische Ermittlung der energetischen Rucksäcke aller berücksichtigten Güter entweder praktisch nicht möglich oder mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden. Außerdem ist die Berücksichtigung der energetischen Rucksäcke funktionell von der Zeit abhängig, und zwar von der wirtschaftlichen Entwicklung der betrachteten Region: mit einer Veränderung der Importpartner aus z. B. wirtschaftlichen Gründen verändern sich auch die energetischen Rucksäcke der importierten Güter.
3. Eine Energiebilanz nach der Originalmethodik führt im Fall von Wien zu einer weiteren Doppelzählung von Energie, da die Gütertransporte von und zu den Bundesländern nicht bekannt sind, d.h. ein Teil des Energieaufwands für Transport (flüssige Energieträger) kann nicht eindeutig in die Bilanz einbezogen werden.

Wie bereits erwähnt, wird daher für die Erstellung der Energiebilanz ein alternatives Vorgehen benutzt. Es wird auf das Konzept der inkorporierten Energie verzichtet. Stattdessen wird mit den folgenden Rahmenbedingungen gearbeitet:

1. Um das schwierige Problem der energetischen Rucksäcke zu umgehen, wird der Gesamtenergieverbrauch von Wien nur als Energiebedarf, aufgeschlüsselt nach Verwendung und Energieträgern, berücksichtigt. Dies bedeutet, dass die für die Erzeugung von Gebrauchsgütern benötigte Energie (inkorporierte Energie), die zum Teil über den Güterexport ins Ausland bzw. in die anderen Bundesländer exportiert wird, direkt in die Berechnung eingeschlossen wird. Unter der Annahme, dass die Produktion von importierten Gütern (aus dem Aus- oder Inland) der gleichen Regel folgt, soll in die Berechnungen für den Fußabdruck von Wien nur die Energiebilanz der Stadt mitbezogen werden. Dadurch wird annäherungsweise die Import-Exportbilanz ausgeglichen.
2. Energie nur als Kohlendioxideinheiten, und damit als Biomasse, auszudrücken, ist nicht ausreichend. Die (im Ökologischen Fußabdruck berücksichtigten) Ressourcen stellen einerseits Materie dar (Luft, Wasser, Boden), die auch in materielle Produkte umgewandelt wird. Energieträger (materielle Ressourcen) werden beim Verbrauch in Energie (nichtmaterielle Ressource) und in Abgase (materielle Ressourcen)

⁷ Dagegen spricht die tatsächliche Lage der Importe: z.B. ein aus China importiertes handgefertigtes Konsumgut mit größerer Transportdistanz wäre mit einem unterschiedlichen energetischen Rucksack beladen als dasselbe Gut, industriell hergestellt in der benachbarten Schweiz.

umgewandelt. Es stellt sich die Frage, ob es möglich ist, mit separaten Flächen- und Energiefußabdrücken zu arbeiten. Ein möglicher Kompromiss, um mit der Originalmethodik im Einklang zu bleiben, ist, die produzierte, importierte, exportierte und konsumierte Energie in Solarenergie umzurechnen, d.h. dadurch als energetische Erdoberfläche darzustellen. Davon ausgenommen bleiben die Emissionen aus dem Einsatz fossiler Energieträger im Verkehr. Diese werden gemeinsam mit dem aus der Abfallwirtschaft stammenden THG-Emissionen als Beitrag zum GWP berücksichtigt.

3. Daher wird der resultierende Nettoenergieverbrauch der Stadt in Solarenergiefläche umgerechnet. Dies erlaubt es, einerseits die Kernidee der Originalmethodik zu bewahren (Energiekonsum als Fläche darzustellen), andererseits aber das Problem zu vermeiden, die Energie materiellen Ressourcen gleichzustellen.
4. Die Berücksichtigung der für die Energiegewinnung eingesetzten Energieträger als Solarenergie bedingt, dass dabei keine Kohlendioxidemissionen „entstehen“, d.h. wenn Solarenergie als Energieäquivalent berücksichtigt wird, fällt die Notwendigkeit weg, die beim Energiekonsum anfallenden CO₂-Emissionen in Wald umzurechnen (Ausnahme: Treibstoffe). Dies würde bei solchen Energiequellen zu einer Doppelzählung von Energie führen. Aus demselben Grund wird auch das durch die Förderung von fossilen Energieträgern abgebaute Bodenvolumen nicht als Verbrauch von volumetrischen Ressourcen betrachtet (Ausnahme: Erdöl zur Kunststoffherstellung).

Damit ergibt sich für die Erfassung des Energiekonsums in Wien und der damit verbundenen THG-Emissionen folgende Struktur:

Energiekomponente:

Es werden die in Wien verbrauchten Energieträger berücksichtigt:

Die Energieträger, die als Treibstoffe verbraucht werden (**Diesel** und **Benzin**), werden separat betrachtet, und zwar als Beitrag zum GWP gemeinsam mit den aus der Abfallwirtschaft entstandenen klimarelevanten Emissionen.

ENERGIEKOMPONENTE	Total [GJ]	Fotovoltaikzellenäquivalente [GJ/ha]	Fußabdruckkomponente [ha/E]
Koks und Kohle			
Gasöl für Heizzwecke			
Heizöl			
Naturgas			
Flüssiggas			
Brennbare Abfälle			
Brennholz			
Fernwärme			
Elektrische Energie			
Hydroelektrische Energie	Berücksichtigt in elektrischer Energie (vernachlässigbar klein)		

Tabelle 6-4: Kategorien zur Berücksichtigung der Energiekomponente des Modifizierten Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien

CO₂-Emissionen:

Klimaneutrale Emissionen:

Dazu gehört nur die Kategorie Brennholz. Ausgehend von der bereits gestellten Rahmenbedingung, dass Energiekonsum durch Solarenergie in Fläche „übersetzt“ wird, wird das Brennholz gemeinsam mit den übrigen Energieträgern betrachtet, und zwar unter Nichtberücksichtigung der Kohlendioxidemissionen.

Klimarelevante Emissionen:

Hierzu gehören die Treibstoffe Diesel und Benzin. Die von Wackernagel [Wackernagel et al., 1997] für die einzelnen Energieträger entnommenen CO₂-Emissionskoeffizienten erlauben eine differenzierte Berechnung der Kohlendioxidemission für den jeweiligen Energieträger. Ihre Summe wird zusammen mit den aus der Abfallwirtschaft stammenden THG-Emissionen als Beitrag zum GWP bearbeitet.

Die Berücksichtigung der elektrischen Energie erfolgt nach den für ihre Erzeugung eingesetzten Energieträgern.

Im Prinzip sollte auch das Volumen des Eduktes (fossile Energieträger) als Komponente der volumetrischen Ressourcen in Betracht gezogen werden. Dies hätte jedoch eine Doppelzählung von Ressourcen zur Folge, nachdem die äquivalente Energieressource Solarenergie darstellt.

6.1.5 Übertragung landesspezifischer Koeffizienten auf den Konsum einer Stadt

Der Ökologische Fußabdruck einer Stadt lässt sich nicht durch landesspezifische Koeffizienten für die inkorporierte Energie bearbeiten⁸. Eine Bestimmung von Wienspezifischen Koeffizienten für die inkorporierte Energie ist allerdings eine sehr schwierige und arbeitsintensive Aufgabe. Es stellt sich wiederum die Frage nach einem Optimum zwischen Aufwand und Ergebnis.

6.2 Resultate

Die Resultate folgen der im Kapitel 6.1 vorgenommenen Gliederung.

6.2.1 Erfassung der Güter

Die Gütererfassung aus der Ackerland-, Weiden, Meer- und Waldnutzung (nur zur Forstnutzung), ergibt den direkten Flächenkonsum der Stadt. Dieser entspricht der Nahrungs- und Genussmittelindustrie, der Forstwirtschaft, der Papierindustrie und der Textilindustrie, um den Bedarf an Nahrungs- und Genussmitteln, Bekleidung und Papier und Papiererzeugnissen der Wiener Bevölkerung zu decken.

⁸ Die Bedingungen, die dies erlauben würden, wären:

1. ein identischer Konsumgüterimport und -export, und
2. eine identische Verteilung der eingesetzten Energie für das Land und die untersuchte Stadt.

Aus Mangel an aktuellen Daten über die Nahrungsmittelflüsse wurden die Informationen der Konsumerhebung des ÖSTAT [ÖSTAT, 1986] aus dem Jahre 1984 entnommen. Es wird die Annahme getroffen, dass der Bedarf an Nahrungsmitteln und damit auch deren Verbrauch konstant sind.

Aufgrund fehlender Daten über den Konsum von Holz in Wien wurden Angaben über die in der Stadt gefällten Holzmengen verwendet [Hangler, 1999]. Ebenso wenig konnten die von der Bauindustrie verbrauchten Holzmengen erfasst werden [Hangler, 1999].

Kategorie	Ertrag Wien (Koeffizient) [kg/ha]	Konsum [t]	Fußabdruck- komponente [ha/E.a]	Landtypus
LANDWIRTSCHAFT				
Tierprodukte				
Kalbs- und Rindfleisch (Rotfleisch)	294	17.963	0,0379	Weiden
Schweinefleisch	714	33.609	0,0292	Ackerland
Geflügel	714	18.157	0,0158	Ackerland
Wurst-, Selch-, Hack- u. sonstige Fleischwaren	504	42.494	0,0524	Ackerland
Milch	3.759	170.750	0,0282	Weiden
Rahm und Butter	752	9.658	0,0080	Weiden
Käse	75	182.339	1,5066	Weiden
Eier	7.519	140.115	0,0116	Ackerland
Fisch	37	3.284	0,0549	Meer
Wolle	465	10.076	0,0135	Weiden
Tierische Fette und Öle (ohne Butter)	752	3.670	0,0030	Weiden
Fleischkonserven	eingeschlossen in Fleischkonsum			
Pflanzliche Produkte				
Getreide (Summe)	4.987	115.121	0,01434	Ackerland
Körnermais	8.101	9.271	0,00071	Ackerland
Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen, Sojabohnen)	4.193	32.836	0,00487	Ackerland
Kartoffeln	25.094	74.751	0,00185	Ackerland
Pflanzenöl	2.040	25.497	0,00776	Ackerland
Futterpflanzen (Tierfutter)	4.546	658.984	0,09006	Ackerland
Feldgemüse	64.219	320.638	0,00310	Ackerland
Zucker	4.893	490.650	0,06230	Ackerland
Wein	2.984	35.927	0,00748	Ackerland
Steinobst	in Obst (Summe)	262.692		
Kern- und Schalenobst	in Obst (Summe)	149.696		
Beerenobst	in Obst (Summe)	38.631		
Obst (Summe)	407.167	451.019	0,00069	Ackerland
Baumwolle	1.000	32.973	0,02049	Ackerland
Nichtalkoholische Getränke	48.925	105.656	0,00134	Ackerland
Fruchtkonserven	eingeschlossen in Obstkonsum			
Kaffee und Tee	528	192.495	0,22649	Ackerland
Kakao	439	27.113	0,03837	Ackerland
Tabak	1.496	69	0,00003	Ackerland
Kautschuk	1.000	21.849	0,01357	Ackerland

Kategorie	Ertrag Wien (Koeffizient) [kg/ha]	Konsum [t]	Fußabdruck- komponente [ha/E]	Landtypus
FORSTWIRTSCHAFT (in [m³/ha] u. [m³])				
Nutzholz	3,41	15.319	0,00279	Wald
Brennholz (inkl. in "Energie")	3,41	5.589	0,00102	Wald
für die Papierindustrie	3,41	1.269.478	0,23133	Wald
Nadelrundholz		187.845		Wald
Laubrundholz		474.835		Wald
Sägerestholz		606.798		Wald
für die Bauindustrie (Bauholz)		k.A.		Wald

Tabelle 6-5: Direkter Flächenkonsum: Ackerland, Weiden, Meer und Wald (Forstnutzung)

Quellen: Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien, 1997, [ÖSTAT, 1997]; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft; Konsumerhebung 1984, [ÖSTAT, 1986]; ÖSTAT; Branchenabfallwirtschaftskonzept Zellstoff- und Papierindustrie, 1995, [Schott & Taibinger, 1995]

Der direkte Flächenkonsum der Stadt, berechnet nach Industrie- und Flächentypen, beläuft sich damit auf folgende Werte, wobei der Waldkonsum nur die direkt verbrauchte Waldfläche beinhaltet (d.h. ohne diejenige Fläche, die zur CO₂-Absorption der Emissionen benötigt wird):

Landtypus	Summe [ha/E]
Ackerland	0,60
Weiden	1,60
Meer	0,05
Wald	0,24

Tabelle 6-6: Direkter Flächenkonsum: Ackerland und Weidenflächen

6.2.2 Volumetrischer Ressourcenverbrauch

Unter den volumetrischen Ressourcen werden die jährlich verbrauchten Baurohstoffe (Bauindustrie) sowie das Erdöl zur Kunststoffherzeugung und die deponierten Abfälle (Abfallwirtschaft, direkte Deponierung und MVA-Schlacken und -Aschen) zusammengefasst. Es ist zu berücksichtigen, dass der existierende Gebäudebestand und die Deponielager, auch wenn nicht aus dem Bezugsjahr (1997) stammend, derzeit immer noch von der Stadt gebraucht bzw. als Ablagerungsvolumen „besetzt“ bleiben. Daher wird zwischen den beiden Werten differenziert, und sie werden deshalb separat aufgeführt. Theoretisch darf der Wert des Ökologischen Fußabdruckes nur die jährliche Rate beinhalten, obwohl nach der Definition des Konsums nach Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] (siehe Kapitel 3.1, Fußnote 1) die Berücksichtigung des Lagers gerechtfertigt wäre. Die Frage nach der Stellung des Lagers sollte zukünftig diskutiert werden.

6.2.2.1 Rohstoffvolumen (Bauindustrie und Kunststoffherzeugung)

Die in Wien jährlich eingesetzten Baustoffe sind für die Periode 1994-1999 konstant [Fischer, 1999] und betragen, aufgeschlüsselt nach Güterkategorien, die folgenden Werte:

BAUROHSTOFFE	Verbrauch/a [t/a]	Dichte [t/m ³]	Verbrauch/a [m ³ /a]
Sand/Kies/Schotter	6.521.132	2,4	2.717.138
Natursteine	16.664	2,7	6.172
Ton	Geheim	2,7	Geheim
Kalk	12.475	2,7	4.620
Gips	12.161	2,5	4.864
Zement	63.415	2,7	23.487
Betonzeugnisse	288.788	2,7	106.959
Summe	6.914.635	2,4	2.863.241

Tabelle 6-7: Bezugsperiode 1994-1999 bei jährlich konstant eingesetzten Baustoffen;
Quelle: [Fischer, 1999]

Umgerechnet in Volumen [Fischer, 1999], ergibt sich bei einer durchschnittlichen Dichte von 2,4 t/m³ ein jährlicher Wert von **1,78 m³/E**, welcher einen Teil der Fußabdrucktiefe der Stadt Wien darstellt.

Der Einsatz von Erdöl zur Erzeugung von Kunststoffen und chemischen Erzeugnissen auf Erdölbasis ergibt eine jährliche Rate von **6,55 m³/E**. Der Wert ergibt sich aus der Summe der nachfolgenden Tabelle:

Fossile Energieträger als Materialverbrauch	[t Erdöl Österreich/a]	Dichte [t/m ³]	[m ³ /E]	Landtypus
Kunststoffe fossile Ressourcen (Erdöl)	4.822.242	0,8	3,75	Rohstoffvolumen
Chemikalien auf Erdölbasis	3.616.681	0,8	2,81	Rohstoffvolumen

Tabelle 6-8: Erdöl zur Kunststoffherzeugung in Tonnen pro Jahr für Österreich;
Quelle: [Fehringer & Brunner, 1996], eigene Berechnungen

Die Erfassung von Erdöl mit den durch die Abfallwirtschaft eingeschlossenen Emissionen führt zu keiner Doppelzählung, da das Erdöl hier als Volumen (und nicht als Kunststoff oder fossiler Energieträger) dargestellt wird, und es wird nur ein Teil davon als CO₂ in der Müllverbrennung entsorgt. Den Rest bilden das Kunststofflager und die chemischen Erzeugnisse, welche nicht als Kohlendioxid entsorgt werden.

6.2.2.2 Deponievolumen

Für das Deponievolumen gilt die analoge Überlegung wie für die Abbauvolumina, d.h. die Frage bezüglich des Lagers bleibt. Aus diesem Grund werden auch beide Werte (jährlicher Wert für das Bezugsjahr und bestehendes Lager) angegeben, wobei im Fußabdruck nur die jährliche Rate berücksichtigt wird.

In der folgenden Tabelle sind die Angaben über den Ablagerungsbestand in Wien aufgeführt:

Deponievolumen	jährlich [t/a]	bestehendes Lager (Deponiekörper)		Bezugsjahr 1997 [m ³ /E.a]	Total- volumen/a [m ³ /a]	Totalvolumen Summe/a [m ³ /a]
		total [t]	total [m ³]			
Aschen und Schlacken der EbS	38.521			0,02	36.476	jährlich neu: 592.964
KVA-Schlacken (Flötzersteig, Spittelau)	158.937			in Deponierung		
Altlasten			22.912.000	14,23	22.912.000	jährlich neu: 0,37
Deponielager (Rautenweg, Langes Feld)		15.620.000	14.790.000	0,35	556.487	
Summe			37.702.000		Lager pro Kopf: 23,4	

Tabelle 6-9: Ablagerungsmengen und –volumina in Wien, Bezugsjahr 1997; Zeitraum 20 Jahre;
Quellen: [Fischer, 1999], Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept, [MA48, 1998], eigene Berechnungen

Der jährliche Bedarf resp. Verbrauch an Deponievolumen der Wiener, bezogen auf das Referenzjahr 1997, beträgt damit **0,37 m³/E.a**, und entspricht **592.964 m³/a** für die ganze Stadt. Dies schließt sowohl den direkt deponierten Müll als auch die MVA- und EbS-Rückstände ein. Der relativ tiefe (pro-Kopf-)Bedarf ist auf den Einsatz der Müllverbrennung zurückzuführen.

Betrachtet man aber das derzeit mit urbanen Ablagerungen besetzte Gesamtvolumen, d.h. unter Berücksichtigung der bestehenden Altlasten und des verfüllten Deponievolumens, ergibt sich eine Verbrauchsbasis des Deponievolumens von **23,4 m³/E.a**, oder für Wien von **37,7 Mio. m³**. Dies zeigt, dass der jährliche Direktverbrauch allein keine Kennzahl für das tatsächlich benutzte Volumen sein kann. Diese Verbrauchsbasis, zusammen mit dem benötigten Rohstoffabbauvolumen, kann in Analogie der Energieerfassung in der Originalmethodik als ein „volumetrischer Rucksack“ betrachtet werden, der, genauso wie der energetische, seine korrekte Zuordnung im Rahmen des Ökologischen Fußabdruckes braucht.

Zusammengefasst ergibt sich der folgende Volumenverbrauch der Stadt Wien in Hinsicht auf Rohstoffabbau (Baustoffe und Erdöl zur Kunststoffherzeugung) und Ablagerungsvolumen:

Kategorie	Jährl. Direkt- verbrauch [Mio. m ³]	Bestehendes Lager [Mio. m ³]	Direktverbrauch Pro-Kopf [m ³ /E]	Lager Pro-Kopf [m ³ /E]
Rohstoffabbau	17,47	241	8,33	150
Baustoffe	6,92	241	1,78	150
Erdöl	10,55	k.A.	6,55	k.A.
Deponien	0,55	38	0,37	23
Summe	18,02	279	8,70	173

Tabelle 6-10: Jährlicher Volumenverbrauch und bestehendes Lager als Summen- und Pro-Kopf-Werte; Quellen: [Fischer, 1999], [Daxbeck et al., 1996]

Das Gesamtlager der Stadt Wien beträgt 350 t/E, davon sind 320 t/E Baumaterialien [Daxbeck et al., 1996], der Rest sind Konsumgüter. Das mittlere Raumgewicht der Baustoffe liegt nach ÖNORM B4000 zwischen 1,5-2,5 t/m³. Damit ergibt sich eine grobe Abschätzung für das Baumaterialienlager von **150 m³/E**. Hochgerechnet auf die Stadt Wien ergibt dies 241 Mio. m³ Baumaterialien.

Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen veranschaulicht:

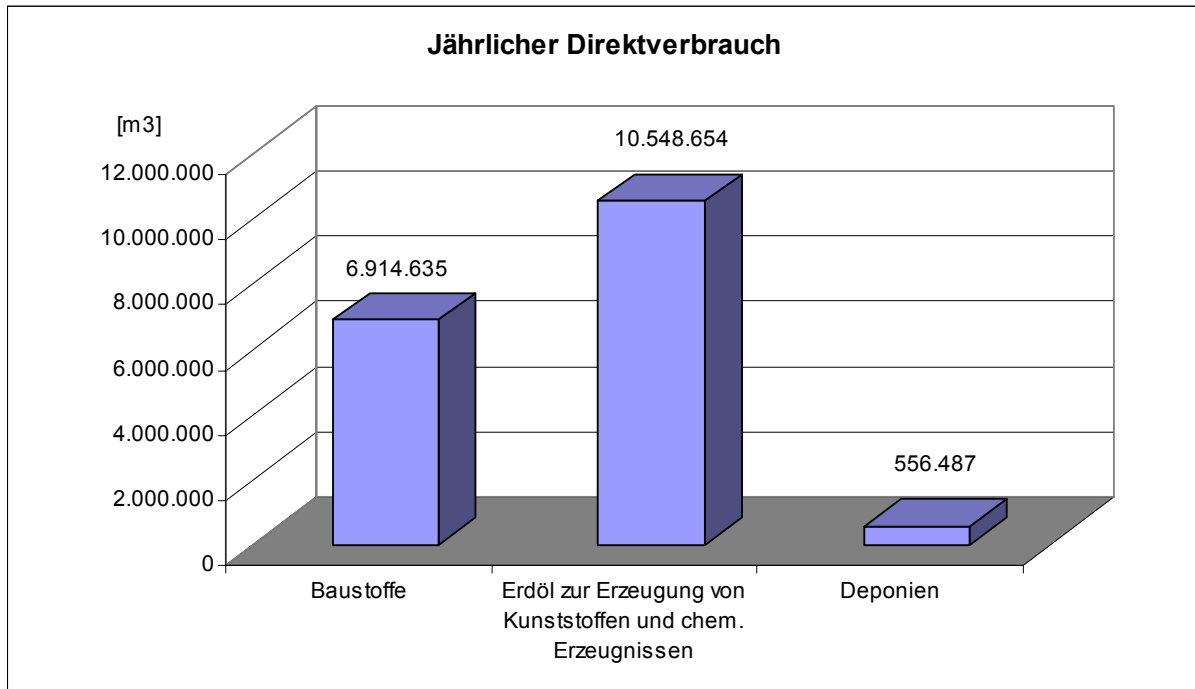


Abbildung 6-1: Jährlicher Direktverbrauch an Baustoff-, Erdöl- und Deponievolumen für die Stadt Wien

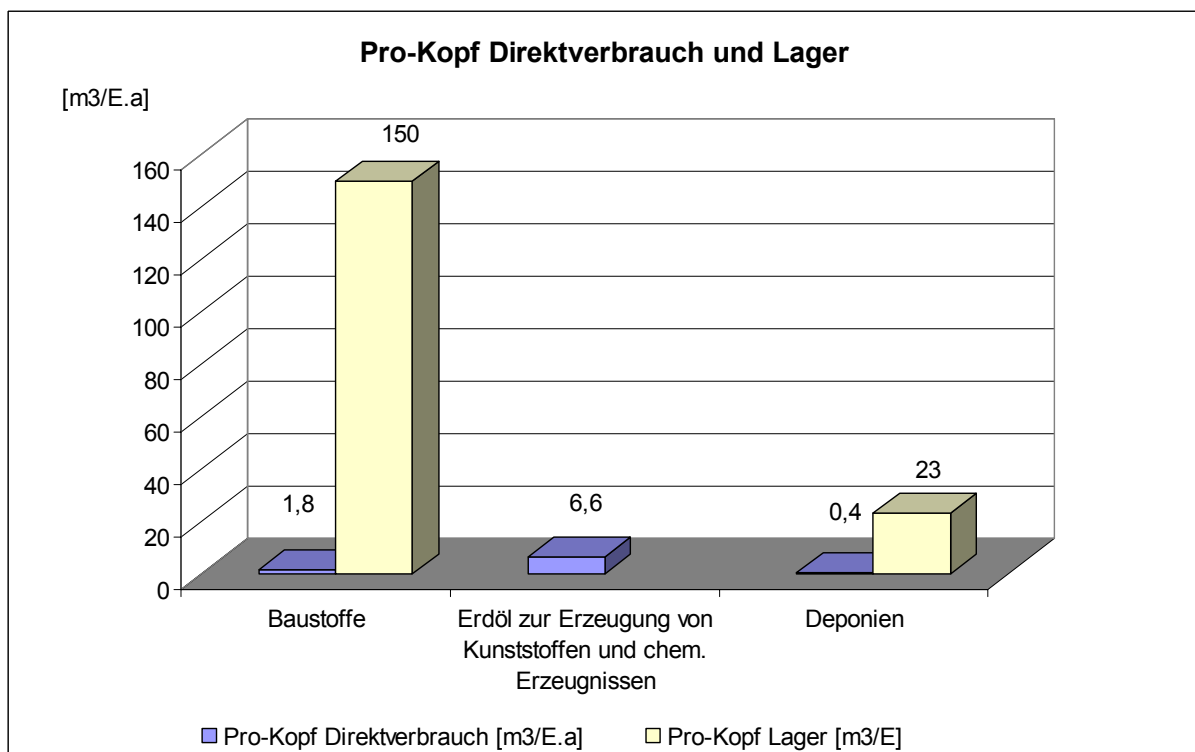


Abbildung 6-2: Pro-Kopf-Direktverbrauch und Lager an Baustoff-, Erdöl- und Deponievolumen von Wien

Es zeigt sich, dass der jährliche Direktverbrauch an volumetrischen Ressourcen zur Erzeugung von Kunststoffen und Chemikalien am höchsten ist. Der Bedarf an Deponievolumen ist im Vergleich zur Baustoffnutzung kleiner. Der pro-Kopf-Lagerbestand weist klar auf die Bedeutung des Baustofflagers hin, welches knapp 90 % des gesamten Lagers ausmacht.

6.2.3 Abfallwirtschaft

6.2.3.1 Luft

Für die Ressource Luft kommen einerseits die aus der Abfallbehandlung⁹ und dem Verkehr entstandenen Emissionen an Treibhausgasen (THG) und andererseits die Menge emittierten klimaneutralen Kohlendioxids in Frage, d.h. Kohlendioxid aus der kommunalen Abwasserreinigung und dem privaten Haushalt und der Anteil klimaneutralen Kohlendioxids aus der Abfallbehandlung. Die Begriffe „klimarelevant“ und „klimaneutral“ sind dem Projekt Methan [Baumeler et al., 1998] entnommen. An diesen Werten sind nur die für Wien relevantesten Verfahren zur Abfallbehandlung beteiligt, nämlich die Müllverbrennung und die Deponierung.

6.2.3.1.1 Klimarelevante Emissionen (THG-Emissionen) der Stadt Wien

6.2.3.1.1.1 Klimarelevante Emissionen der Abfallwirtschaft

Die Basis für die Berechnung der emittierten Raten an THG stammt aus dem Projekt METHAN [Baumeler et al., 1998]. Da in diesem Projekt ein gesamtösterreichischer Durchschnitt verwendet wird, muss aus diesen Daten eine durchschnittliche jährliche Emissionsrate für Wien berechnet werden. Ausgegangen wird vom THG-Emissionsdurchschnitt für Österreich, ausgedrückt als CO₂-Äquivalente pro Jahr. Dieser Durchschnitt entspricht den in Wien vorhandenen Entsorgungsverfahren, d.h. Verbrennung und Deponierung. In der folgenden Tabelle sind die klimarelevanten Emissionen (KRE) der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt, wobei die Verbrennung und Deponierung separat aufgeführt sind:

	Klimarelevante Emissionen; Mittelwerte Österreich
	[t CO₂-Äqu/a]
Verbrennung	570.000
Deponierung	4.720.000
Total	5.290.000
Mechanisch-biologische Müllbehandlung	8.000
Kompostierung	44.000
Total KRE Österreich	5.342.000

Tabelle 6-11: Jährliche klimarelevante Emissionen für Österreich nach [Baumeler et al., 1998]

Die totale THG-Emissionsrate pro Tonne Abfall, ausgedrückt als pro-Kopf-Wert für Österreich und multipliziert mit der Abfallmenge und der Bevölkerungsanzahl von Wien, ergibt die gesamte THG-Emission der Stadt, die aus ihren Abfallbehandlungsverfahren stammt. Die vollständige Berechnungstabelle befindet sich im Anhang.

⁹ Die durch den Abfalltransport entstandenen THG-Emissionen werden über den Treibstoffverbrauch berücksichtigt.

	Abfallbehandlung		KRE behandelter Abfall	KRE Abfallbehandlung	KRE/E
	Österreich	Wien	Österreich	Wien	Wien
	[t Abfall/a]	[t Abfall/a]	[t CO ₂ -Äqu/t]	[t CO ₂ -Äqu/a]	[t CO ₂ -Äqu/a]
Verbrennung	2.386.568	418.292	0,24	99.903	
Deponierung	3.522.545	127.033	1,34	170.217	
		545.325		270.120	0,17

Tabelle 6-12: Jährliche THG-Emissionen der Wiener Abfallwirtschaft, berechnet aufgrund der Daten von [Baumeler et al., 1998]; klimarelevanten Emissionen (KRE)

Diese THG-Emissionen, als Flächenemission ausgedrückt, ergeben einen Wert von **6,51 t CO₂-Äqu/ha**.

Die Berechnungen von Baumeler [Baumeler et al., 1998] beruhen auf Abfallmengen­daten aus 1996. Der Anstieg der Abfallmengen in Wien von 1996 bis 1997 bewirkt eine Erhöhung der THG-Emissionen um 2 %. Diese Erhöhung spielt jedoch wegen der Ungenauigkeit der Daten und der Höhe des Anstiegs für den Ökologischen Fußabdruck von Wien keine Rolle, und wird daher vernachlässigt.

6.2.3.1.1.2 Klimarelevante Emissionen des Energieträgerverbrauchs

Die aus dem Energieträgerverbrauch resultierenden klimarelevanten Emissionen stammen aus der Treibstoffnutzung (Verkehr) und sind in der folgenden Tabelle erfasst:

Treibstoffart	[TJ]	[t CO ₂ /TJ]	[Mio. t CO ₂]
Benzin	13.808	73,3	1,01
Diesel	18.378	73,3	1,35
Summe	32.186		2,36

Tabelle 6-13: Klimarelevantes Kohlendioxid aus dem Verkehr der Stadt Wien; Quelle: [MA66, 1998], [Wackernagel et al., 1997], eigene Berechnungen

Die **2,36 Mio. t CO₂** stellen den Beitrag der Stadt Wien zu den klimarelevanten Treibhaus­emissionen durch den Verbrauch der Energieträger dar.

6.2.3.1.1.3 Beitrag der Stadt Wien zum GWP

Nach Heijungs [Heijungs et al., 1992] ist die Größe „Globalerwärmungspotentials“ (GWP) als das Verhältnis zwischen der Treibhauswirksamkeit verschiedener Gase (CH₄, N₂O, FCKW) zur Wirksamkeit von CO₂ definiert und ist dimensionslos. Da die Umrechnung von allen THG-Emissionen der Stadt Wien bereits in Kohlendioxidäquivalenten durchgeführt wurde, ist dieser Wert bereits das Maß des Beitrags der Stadt Wien zum GWP, ausgedrückt durch das Kohlendioxidäquivalent Totalemission an THG:

	[t CO ₂ /E.a]
Abfallwirtschaft	2,14
Verkehr	1,47
Summe	3,61

Tabelle 6-14: Beitrag der Stadt Wien zum GWP: klimarelevantes CO₂-äquivalent der THG-Emissionen

6.2.3.1.2 Klimaneutrale Emissionen der Stadt Wien

6.2.3.1.2.1 Klimaneutrale Emissionen der Abfallwirtschaft

Die klimaneutralen Emissionen der Stadt Wien umfassen hauptsächlich die Anteile an klimaneutralem Kohlendioxid aus der Abfallbehandlung und aus der kommunalen Abwasserreinigung (inkl. der Verbrennung des Klärschlammes). Die Letztere schließt auch den Anteil an klimaneutralem Kohlenstoff, der durch den menschlichen Metabolismus veratmet wird, ein.

Die Mengen des von der Abfallbehandlung emittierten klimarelevanten und klimaneutralen Kohlendioxids für Wien ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Dabei wird die Annahme getroffen, das pro Tonne gleich behandelten Abfalls die klimarelevanten und –neutralen Emissionen im gleichen Verhältnis sowohl für den österreichischen als auch für den Wiener Durchschnitt entstehen.

Wien	Verhältnis neutral : relevant	klimarelevant	klimaneutral
	[-]	[t CO ₂ /a]	[t CO ₂ /a]
Verbrennung	3,40	99.903	340.022
Deponierung	0,13	170.217	22.684

Tabelle 6-15: Durchschnittlich der österreichischen und Wiener „klimaneutrale zu klimarelevanten Emissionen“ und deren Verhältnis zueinander; [Baumeler et al., 1998]

Gemäss der Definition des klimaneutralen Kohlenstoffs, sind diese klimaneutralen CO₂-Emissionen am Fußabdruckwert direkt als Waldfläche beteiligt. Ausgehend vom in Wackernagel [Wackernagel et al., 1997] angegebenen Wert für Absorption von Kohlenstoff durch Waldfläche (1,42 t C/ha Wald), korrigiert für Kohlendioxid, ergibt sich der Absorptionskoeffizient von 5,21 t CO₂/ha Wald. Dadurch kann die für die Absorption der klimaneutralen Kohlenstoffmenge benötigte Waldfläche berechnet werden, nämlich **0,16 ha/E**.

Die emittierte Menge an klimaneutralem Kohlendioxid aus der kommunalen Abwasserbehandlung und durch die Atmung ist aufgrund des menschlichen Metabolismus bestimmt worden. Nach dem Projekt METAPOLIS [Baccini et al., 1993] sondert der Mensch jährlich 170 kg Kohlenstoff ab, davon gelangen ca. 4 % ins Abwasser, und die restlichen ca. 96 % werden als CO₂ veratmet. Beide Komponenten werden über den Absorptionskoeffizienten für Wald in Waldfläche umgerechnet. Die kommunale Abwasserreinigung ist nach [v. Schulthess, 1994] mit praktisch keinen THG-Emissionen (Lachgas) verbunden.

Klimaneutrale CO ₂ -Emissionen	[t CO ₂ /a]	Umrechnungskoeffizient für CO ₂ -Absorption [t CO ₂ abs./ha Wald]	Fußabdruckkomponente [ha/E]	Landtypus
Mülldeponie	22.684	5,21	0,0027	Wald
Müllverbrennung	340.022		0,0406	Wald
Kommunale Abwasserreinigung	40.133		0,0048	Wald
Private Haushalte (Atmung)	963.203		0,1149	Wald
Summe			0,1630	

Tabelle 6-16: Benötigte Waldfläche zur Absorption der klimaneutralen CO₂-Emissionen der Stadt Wien

6.2.3.1.2.2 Klimaneutrale Emissionen des Energieverbrauchs

Zu den klimaneutralen Emissionen der Stadt Wien, die vom Energieverbrauch stammen, wäre nur die thermische Verwertung von Brennholz zu berücksichtigen. Da aber der Einsatz aller Energieträger zur Energiegewinnung als Fotovoltaikfläche berechnet wird, darf die daraus resultierende Kohlendioxidemission nicht in der Waldfläche mitgezählt werden.

6.2.3.2 Boden

Die Ressource „Boden“ wurde unter „Rohstoffvolumen (Bauindustrie und Kunststoffherzeugung)“ erfasst.

Derzeit ist die Berücksichtigung der Bodenbeeinträchtigung durch die Abfallwirtschaft, und die Anreicherung an Schwermetallen und nichtmetallische Verbindungen durch diffuse Emissionen und Deponiesickerwasser – praktisch noch nicht machbar (siehe Kapitel 6.1). Aus diesem Grund wird die Bodenbelastung nur aufgrund des Baustoffabbaus und des beanspruchten Deponievolumens durchgeführt. Diese werden unter der Kategorie „volumetrische Ressourcen“ (Fußabdrucktiefe) erfasst.

6.2.3.3 Wasser

Die Ressource „Wasser“ wurde über die verbrauchten Getränke („Gütererfassung“) und durch den anfallenden Klärschlamm („Luft: Klimarelevante und neutrale Emissionen“ und „Boden: Ablagerungsvolumen“) berücksichtigt. Leitungswasser und industrielles Brauchwasser wird nicht berücksichtigt.

6.2.4 Erfassung der Energie

In der modifizierten Energiebilanz von Wien wird vom gesamten Energiekonsum der Stadt ausgegangen. Es bleiben jedoch jene Energieträger unberücksichtigt, die als Treibstoff im Verkehr eingesetzt werden, d.h. Benzin und Diesel. Diese wurden unter „Klimarelevante Emissionen der Stadt Wien“ berücksichtigt.

Gemäß der im Kapitel 6.1 getroffenen Annahme für die alternative Berücksichtigung der inkorporierten Energie, wird dadurch einerseits die in den Gebrauchsgütern eingebundene Energie erfasst, und andererseits eine Doppelzählung dieser Komponente vermieden. Den

Gesamtenergieverbrauch der Stadt sowie den pro-Kopf-Verbrauch, aufgeschlüsselt nach ausgewählten Energieträgern, zeigt folgende Abbildung:

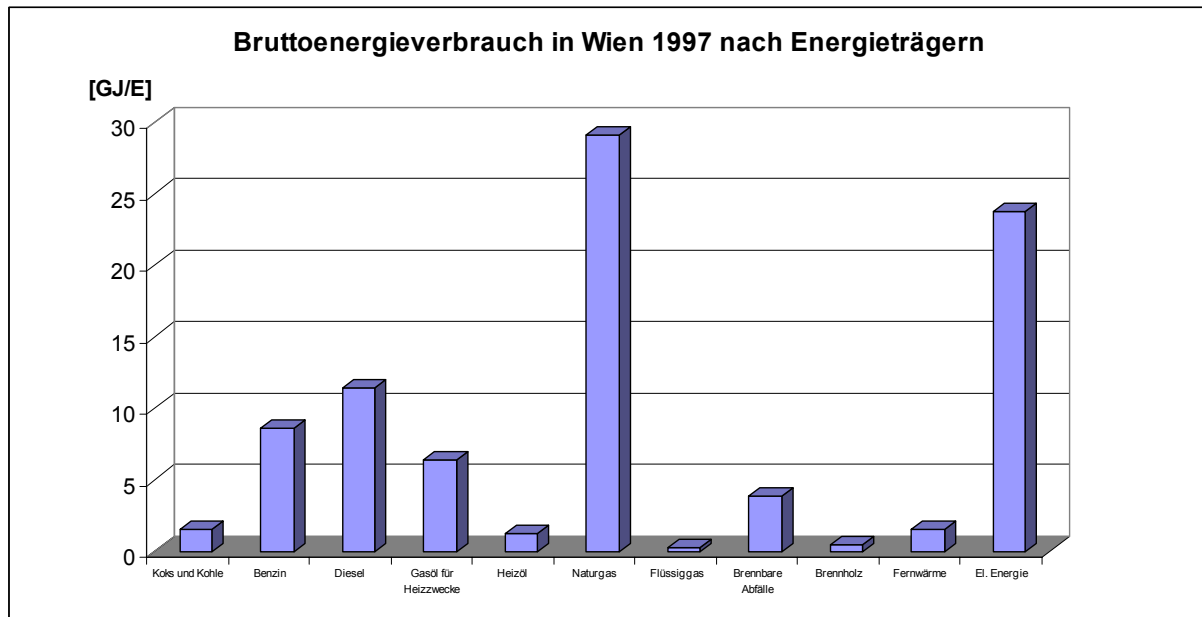


Abbildung 6-3: Bruttoenergieverbrauch der Stadt Wien (1997), aufgeschlüsselt nach Energieträgern

Energieträger	[1.000 GJ]	[GJ/E]
Koks und Kohle	2.456	1,5
Benzin	13.808	8,6
Diesel	18.378	11,4
Gasöl für Heizzwecke	10.171	6,3
Heizöl	2.003	1,2
Naturgas	46.839	29,1
Flüssiggas	402	0,2
Brennbare Abfälle	6.126	3,8
Brennholz	709	0,4
Fernwärme	2.398	1,5
Elektrische Energie	38.216	23,7
Summe	141.506	87,9

Tabelle 6-17: Gesamt- und pro-Kopf-Energieverbrauch von Wien nach Energieträgergruppen unterteilt ¹⁰; Quelle: Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien, 1997, Daten 1997; [MA66, 1998]

Die am Konsum von elektrischer Energie beteiligten Energieträgermengen (Naturgas und Heizöl) wurden separat unter der Kategorie „Elektrische Energie“ berücksichtigt: vom gesamten Energieträgerverbrauch wurden 46 % Naturgas und 2 % Heizöl subtrahiert. Der Verbrauch an elektrischer Energie, aufgeschlüsselt nach Bereichen, ist, wie folgt:

¹⁰ Koks und Kohle werden gemeinsam gezählt zwecks einer Gegenüberstellung mit der Originalmethodik: in der Letzteren sind Absorptionskoeffizienten nur für den Energieträger Kohle angegeben, daher werden hier die gleichen Koeffizienten auch für die aus Koks stammenden Emissionen angenommen.

Stromerzeugung aus				
Wasserkraft	Wärme aus			Summe
[GJ]	Heizöl [1.000 GJ]	Naturgas [1.000 GJ]	Sonstigem [1.000 GJ]	[1.000 GJ]
870.480	5.465	11.367	755	18.458
Stromimporte landesintern [GJ]				35.201
Stromexporte landesintern [GJ]				15.442
Verbrauch			Gesamtverbrauch in %	38.216
Haushalt			26,3	10.050
Gewerbe			14,0	5.341
Landwirtschaft			0,5	196
Industrie			24,2	9.230
Öffentliche Anlagen			21,1	8.076
Verkehr			5,7	2.196
Eigenbedarf			1,9	741
Verluste			6,2	2.386
Jährlicher Verbrauch an elektrischer Energie pro Kopf (1997)				23,7 GJ/E

Tabelle 6-18: Verbrauch an elektrischer Energie in Wien (1997), aufgeschlüsselt nach Bereichen;

Quellen: Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien 1997, [MA66, 1998]

Die Beteiligung jedes Verbrauchssektors ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Einsatzbereich		Elektr. Energieverbrauch in %	Gesamtverbrauch in %
Elektrische Energie:	Haushalt	26,3	7,1
	Gewerbe	14,0	3,8
	Landwirtschaft	0,5	0,1
	Industrie	24,2	6,5
	Öffentliche Anlage	21,1	5,7
	Verkehr	5,7	1,5
	Eigenbedarf	1,9	0,5
	Verluste	6,2	1,7
Einsatzbereich		Elektr. Energieverbrauch in %	Gesamtverbrauch in %
Elektrische Energie Summe			27,0
Fernwärme			5,7
Heizung total (Erdgas direkt)			12,1
Verkehr (Direktverbrauch)			22,7
Direktverbrauch Industrie, Gewerbe, Privathaushalte			13,2
SUMME			81,0

Tabelle 6-19: Energieträgerverbrauch in Wien nach Einsatzbereichen gegliedert. Die fehlenden 19 % schließen Kleinabnehmer ein;

Quellen: Statistisches Jahrbuch Wien 1997, [MA66, 1998]; eigene Berechnungen

Damit ergibt sich folgender Energieträgerverbrauch in Wien, aufgeschlüsselt nach Bereichen:

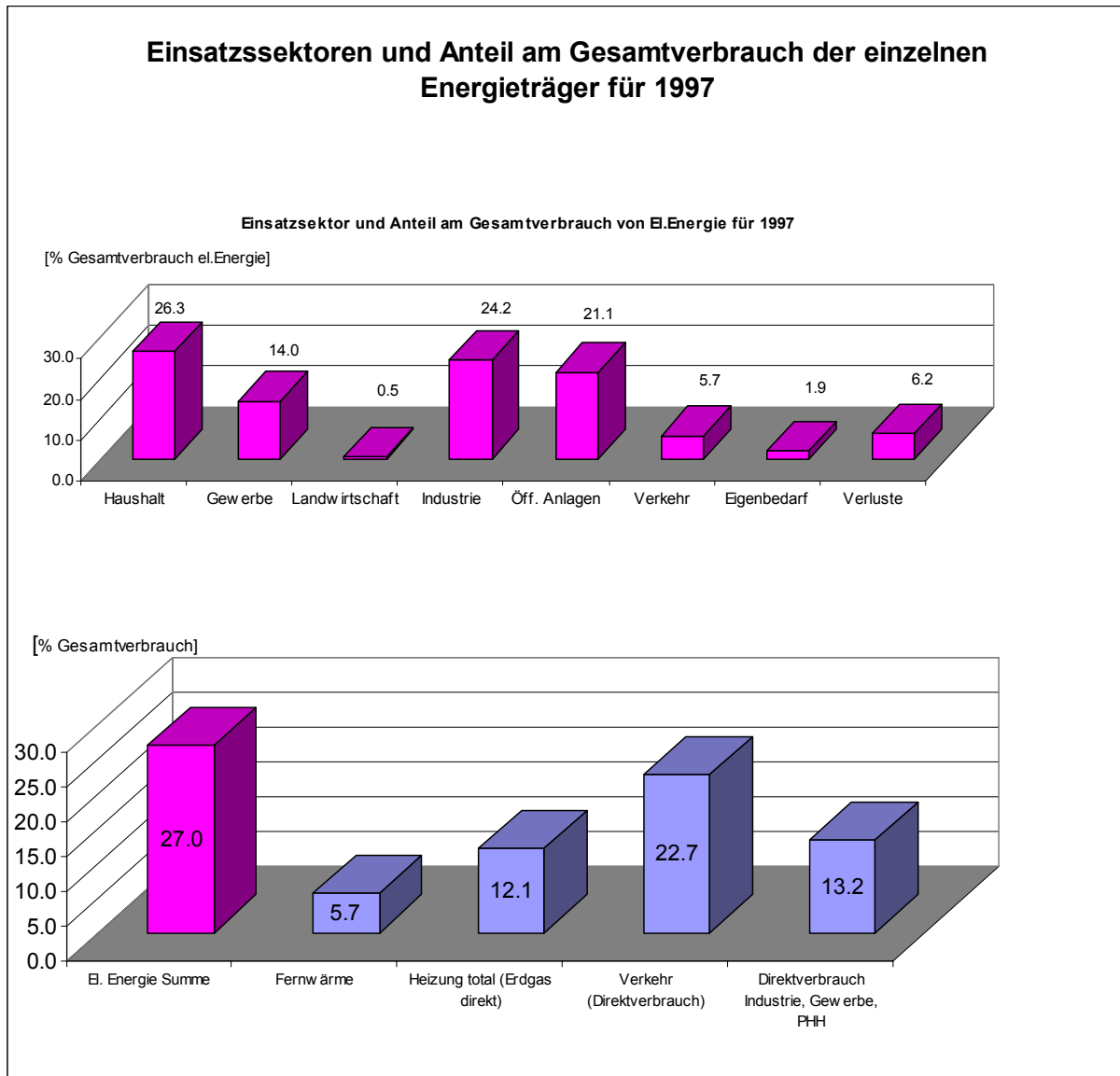


Abbildung 6-4: Einsatzbereiche der einzelnen Energieträger und ihr Beitrag zum Gesamtverbrauch (1997). Der Verbrauch an elektrischer Energie ist separat in der oberliegenden Graphik aufgeschlüsselt;
Quelle: Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien 1997, [MA66, 1998]

Um diesen Energieverbrauch als Fläche darzustellen, wird von der Leistung der derzeit in Österreich in Betrieb befindlichen Fotovoltaikzellen ausgegangen. Umgerechnet auf die in dieser Studie benutzten Dimensionen, liefern diese jährlich 2.520 GJ/ha [Rakos, 1999]. Damit kann der Energiekonsum von Wien in Fotovoltaikzellenfläche umgerechnet werden:

Bruttoenergieverbrauch (1997) – ohne Diesel und Benzin	[1.000 GJ]	[GJ/E]
Koks und Kohle	2.456	1,53
Gasöl für Heizzwecke	10.171	6,32
Heizöl	2.003	1,24
Naturgas	46.839	29,10
Flüssiggas	402	0,25
Brennbare Abfälle	6.126	3,81
Brennholz	709	0,44
Fernwärme	2.398	1,49
Elektrische Energie	38.216	23,74
Summe	109.320	67,92
Summe in [kWh]		30,37 Mrd. kWh
Fotovoltaikzellenfläche	43,381 ha	0,027 ha/E

Tabelle 6-20: Jährlicher Energiekonsum der Stadt Wien als Fotovoltaikzellenfläche dargestellt

Der entsprechende pro-Kopf-Wert, korrigiert um den Energiekoeffizient von 1,1, beläuft sich damit auf **0,031 ha/E**.

Der Vollständigkeit halber wird dieses alternative Rechenverfahren zusätzlich der Originalmethodik gegenübergestellt. Dabei werden alle Energieträger, inkl. Treibstoffe, gleichzeitig berücksichtigt und in CO₂-Einheiten umgerechnet. Die THG-Emissionen werden nicht berücksichtigt:

Energiekomponente	Gesamt	Pro-Kopf (spezifisch)	Absorptionskoeffizient	Fußabdruck-Komponente
	[1.000 GJ]	[GJ/E]	[-]	[ha/E]
Koks und Kohle	2.456	1,5	55	0,03
Benzin	13.808	8,6	71	0,12
Diesel	18.378	11,4	71	0,16
Gasöl für Heizzwecke	10.171	6,3	71	0,09
Heizöl	2.003	1,2	71	0,02
Naturgas	46.839	29,1	93	0,31
Flüssiggas	402	0,2	71	0,00
Brennbare Abfälle	6.126	3,8	55	0,07
Brennholz	709	0,4	55	0,01
Fernwärme	2.398	1,5	93	0,02
Elektrische Energie	38.216	23,7	78	0,30
Hydroelektrische Energie	Berücksichtigt in der elektrischen Energie, aber vernachlässigbar klein			
Die in den importierten Gütern inkorporierte Energie wird nicht mehr separat berücksichtigt.				
Summe fossile Energie	141.506	87,9		1,13

Tabelle 6-21: Jährlicher Energiekonsum der Stadt Wien, Fußabdruck-Komponente berechnet nach [Wackernagel & Rees, 1996], mit angepasster Energiekonsumliste, ohne inkorporierte Energie und THG-Wirksamkeit.

Um die Gegenüberstellung beider Ergebnisse zu erleichtern, werden die Schlüsselzahlen nebeneinander gestellt (Werte um den Energie- und Ertragskoeffizienten korrigiert):

Rechenverfahren	Energie als	Pro-Kopf [ha/E]	THG-Emissionen	Summe [ha/E]
Original [Wackernagel & Rees, 1996]	CO ₂ -Einheiten/ Waldfläche	1,27	-	1,27
Modifizierte Methodik	Fotovoltaik- zellenfläche	0,031	[t CO ₂ /E] resp. [ha Wald/E]	
		Beitrag zum GWP	3,61	0,79
		Waldfläche	0,45	1,24

Tabelle 6-22: Zusammenfassung der Energiefläche nach [Wackernagel & Rees, 1996] und nach dem Modifizierten Verfahren. THG-Emissionen werden in der Originalmethodik nicht als solche berücksichtigt.

Von Bedeutung ist vor allem der qualitative Unterschied: nach der Originalmethodik stellt die Energiefläche schlussendlich Waldfläche dar, die für die Absorption des beim Verbrauch der fossilen Energieträger entstandenen Kohlendioxids benötigt wird. Jedoch ersetzt CO₂-absorbierende Waldfläche mittel- bis langfristig (d.h. innerhalb von Jahrhunderten) keine fossilen Energieträger. Das alternative Vorgehen dagegen widerspiegelt die Konsequenzen vom Konsum fossiler Energieträger realitätsnäher, nämlich Emissionen an Gasen mit Treibhauswirkung und Erschöpfung nicht erneuerbarer Ressourcen, und fördert die Tendenz, nach umweltfreundlichen und –gerechten Alternativen zur Energiegewinnung zu suchen. Dadurch widerspiegeln die Ergebnisse des Modifizierten Fußabdruckes die Auswirkungen des Umgangs mit der Ressource Energie auf die Umwelt auf differenziertere Art.

Durch den derzeitigen Mangel an einem einheitlichen und vollständigen Vorgehen bei der Energieerfassung lässt sich die Fußabdruckgröße nicht eindeutig bestimmen. Dies wird auch im folgenden Kapitel beim Vergleich des Modifizierten Fußabdruckes von Wien mit dem anderer Städte gezeigt.

6.3 Zusammenfassung

6.3.1 Der Modifizierte Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien

Der Modifizierte Ökologische Fußabdruck von Wien besteht aus den folgenden Komponenten: einer Flächenkomponente entsprechend der Originalmethodik, diese schließt auch den Energiekonsum ein; einer volumetrischen (Fußabdrucktiefe) und einer klimatischen (Beitrag zum GWP) Komponente. Die volumetrische und die klimatische Komponente stellen eine notwendige Erweiterung der Originalmethodik dar und ermöglichen die Ermittlung eines differenzierten Fußabdruckes.

Die Ergebnisse des Modifizierten Fußabdruckes sind in der folgenden Abbildung veranschaulicht:

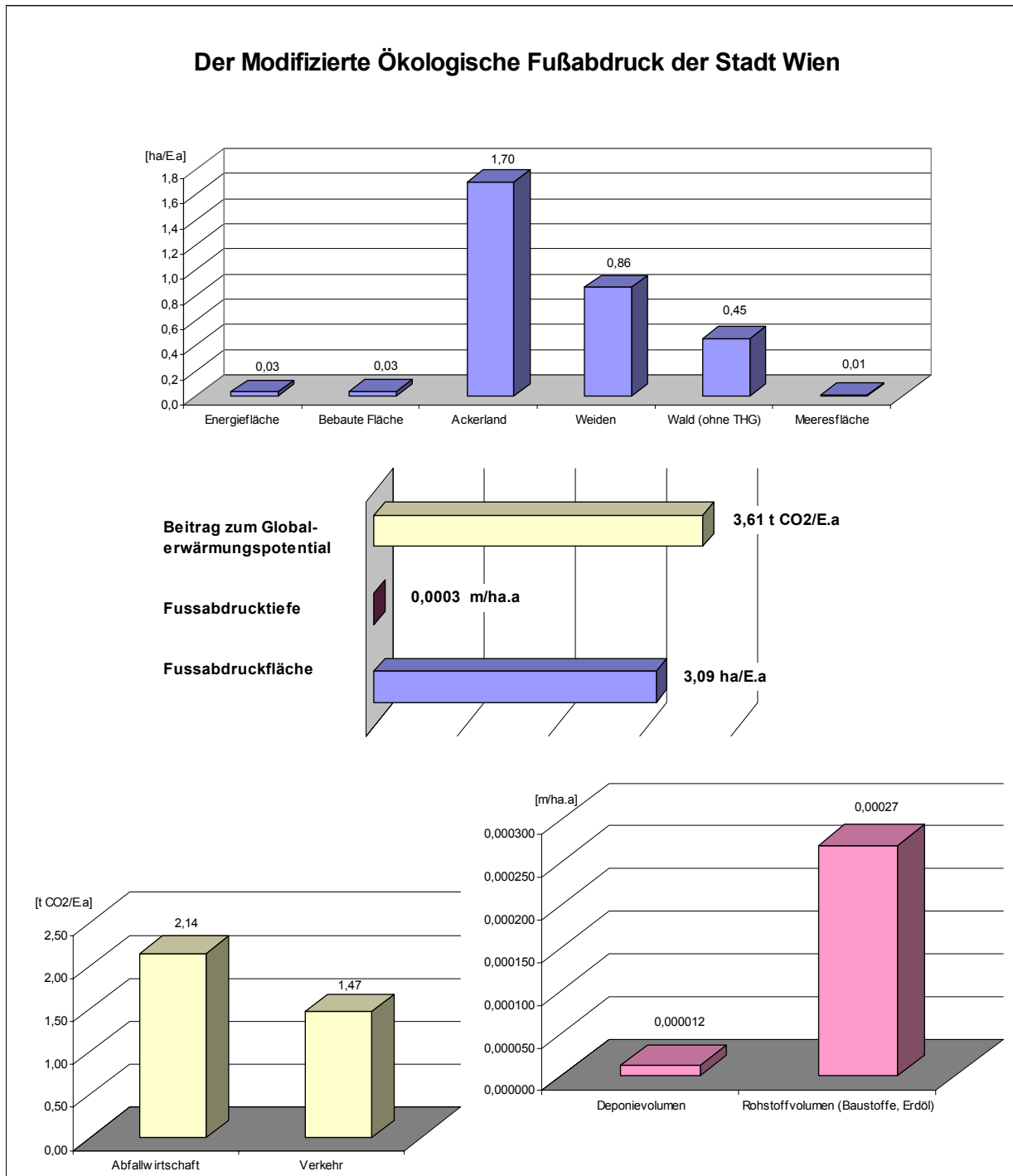


Abbildung 6-5: Der Modifizierte Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien. An der Fußabdrucktiefe ist nur der volumetrische Ressourcenverbrauch für das Bezugsjahr beteiligt, das bestehende Lager wird nicht berücksichtigt.

Die einzelnen zueinander nicht addierbaren Komponenten, welche im zweiten Teil dieser Studie separat beschrieben wurden, sind der Reihe nach zusammengestellt:

	Summe [ha/E]	Äquivalenzfaktor [-]	Fußabdruckfläche [ha/E]
Energiefläche (Fotovoltaik)	0,03	1,1	0,03
Bebaute Fläche	0,01	2,8	0,03
Ackerland	0,60	2,8	1,70
Weiden	1,60	0,5	0,86
Wald	0,40	1,1	0,45
Meeres- und Wasserfläche	0,05	0,2	0,01
Total Fußabdruckfläche pro Kopf			3,09
	Summe [m ³ /E.a]	Lager [m ³ /E]	Fußabdrucktiefe [m/ha _{EF} .a]
Deponievolumen	0,37	23	0,00001
Rohstoffvolumen (Baustoffe, Erdöl)	8,33	150	0,00027
Total Fußabdrucktiefe pro Kopf	8,70	173	0,00028
			[t CO₂/E.a]
Abfallwirtschaft			2,14
Verkehr			1,47
Beitrag zum GWP pro Kopf			3,61

Tabelle 6-23: Der Modifizierte Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien

6.3.2 Fußabdruck (Flächenwert)

Der Flächenwert des Ökologischen Fußabdruckes von Wien beträgt **3,1 ha/E**. Dies ist um 20 % tiefer als der Wert nach der Originalmethodik. Von Bedeutung ist nicht nur der Wert selbst, sondern v.a. die verbesserte Übereinstimmung und Repräsentativität zwischen dem Fußabdruck und dem physikalischen Hintergrund, d.h. der Realität in der Stadt Wien.

Formell gesehen, unterscheidet sich der Modifizierte Fußabdruckwert von Wien in drei der insgesamt sechs Flächenkategorien, nämlich die Werte für Weiden, Bebaute Fläche und Meeresfläche, kaum vom nach der Originalmethodik berechneten Wert. Die Fläche „Ackerland“ ist im modifizierten Fußabdruck 3x und jene für Wald ist 2x höher als nach der Originalmethodik. Der Unterschied ist vor allem auf die adaptierte Güterliste zurückzuführen. Unterschiede ergeben sich weiters in der Energiefläche, welche durch die Berücksichtigung der Kohlendioxidemissionen aus der Energiegewinnung als Beitrag zum GWP die zwei Werte nicht miteinander vergleichbar macht. „Versteckt“ in diesem Vergleich bleiben auch der Anspruch der Stadt an volumetrischen Ressourcen sowie die Stellung der Abfallwirtschaft. Dieser zweite Fußabdruckwert allerdings präsentiert eine differenzierte Betrachtung des urbanen Konsums in Wien. Diese Überlegungen sind in der folgenden Graphik zusammengefasst:

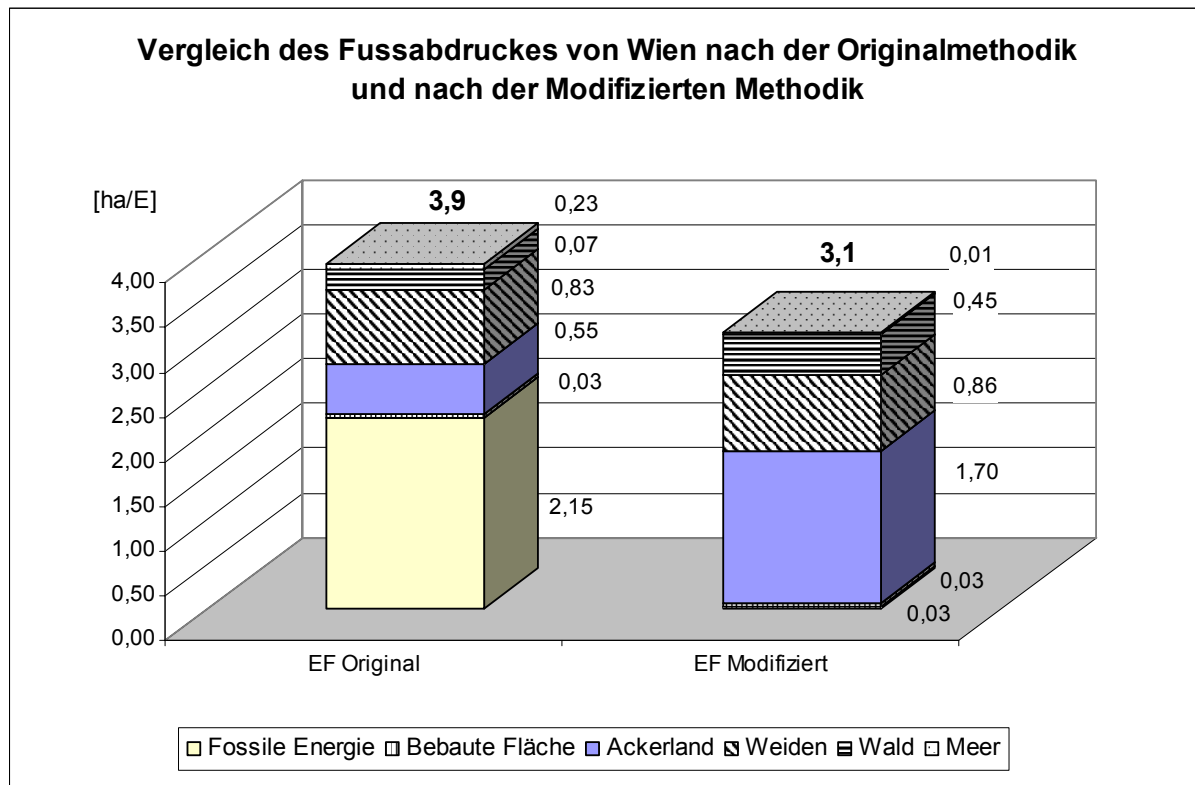


Abbildung 6-6: Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien nach der Modifizierten Methodik und nach der Originalmethodik

6.3.3 Fußabdrucktiefe (volumetrischer Indikator des Ökologischen Fußabdrucks)

Die Fußabdrucktiefe ergibt sich durch Division des im Bezugsjahr direktbenutzten Rohstoff- und Ablagerungsvolumens mit der Fußabdruckfläche und beträgt **0,0003 m/ha_{EF}** im Jahr 1997.

Da der Parameter Fußabdrucktiefe erst durch diese Studie eingeführt wird, ist ein Vergleich mit Referenz- oder SOLL-Werten derzeit noch nicht möglich.

6.3.4 Beitrag zum GWP

Der Beitrag zum GWP wird durch die CO₂-(äquivalente) Emission ausgedrückt. Der Beitrag der Stadt Wien für das Bezugsjahr entspricht dadurch **3,61 t CO₂/E** (Anteil Verkehr und Abfallwirtschaft an den gesamten CO₂ Emissionen).

6.3.5 Vergleich mit dem SOLL-Wert und mit den Ökologischen Fußabdrücken der Vergleichsregionen

Der nach der Modifizierten Methodik berechnete Fußabdruck der Stadt Wien lässt sich, wie auch der nach der Originalmethodik ermittelte Fußabdruck, nur begrenzt mit den Werten der

Referenzregionen vergleichen. Jede Stadt hat Mangels verfügbarer Daten auf individuelle Art und Weise versucht, die Lücken zu schließen. Dadurch wurden unterschiedliche Güter erfasst. Eine Gegenüberstellung ist nur bei den Kategorien Ackerland, Weiden, Wald, Bebaute Fläche und Meeresfläche sinnvoll.

Die Energiefläche eignet sich nicht für einen Vergleich. Der Konsum an volumetrischen Ressourcen kann, mangels verfügbarer Zahlen, ebenfalls nicht verglichen werden. Weiters wurden in den Vergleichsregionen THG-Emissionen, die Rohstoff- resp. Ablagerungsvolumina des Modifizierten Fußabdrucks nicht berücksichtigt.

6.3.5.1 Vergleich mit dem SOLL-Wert

Ein Vergleich des Modifizierten Fußabdruckes von Wien mit dem weltdurchschnittlichen SOLL-Wert ergibt eine benötigte Reduktion des derzeitigen Verbrauchs der erwähnten Kategorien um 45 %, die in der folgenden Tabelle gezeigt ist.

Komponente	SOLL-Wert	Wien IST-Wert	Wien Reduktion	Wien SOLL-Wert
	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]
Ackerland	0,22	1,70	0,76	0,93
Weiden	0,53	0,86	0,39	0,48
Wald	0,53	0,45	0,20	0,25
Bebaute Fläche	0,03	0,03	0,01	0,02
Meeresfläche	0,44	0,01	0,00	0,01

Tabelle 6-24: Vergleich des Flächenkonsums im Modifizierten Fußabdruck von Wien mit dem weltdurchschnittlichen SOLL-Wert

Im Gegensatz zum Fußabdruck nach der Originalmethodik, betrifft eine notwendige Reduktion die Nutzung von Ackerland und Weiden am stärksten.

Eine maßgebende Rolle für die Reduktion des Ackerlandverbrauchs, abgeleitet ausschließlich von den entsprechenden Maximalwerten dieser Kategorie, könnte, durch die Reduktion des Konsums von Kaffee, Tee, Futterpflanzen und Zucker erzielt werden. Es stellen sich allerdings die Fragen, ob solche Vorschläge sinnvoll und realistisch sind, und ob nicht stattdessen ein umfassendes und planmäßiges Ressourcenmanagement als Steuerungsinstrument zur Erreichung desselben Ziels nicht geeigneter und effizienter wäre.

6.3.5.2 Vergleich mit den Ökologischen Fußabdrücken anderer Städte

Ein Vergleich des gesamten Fußabdruckwertes des Modifizierten Fußabdruckes mit jenen anderer Städte ist nicht mehr möglich. Daher werden nur fünf der insgesamt sechs Flächenkategorien gegenübergestellt. Diese fünf Kategorien können, wie zu Beginn des Kapitels 6.3.5 bereits erwähnt, nur bedingt miteinander verglichen werden. Diese Werte ergeben nach Aufschlüsselung die folgende Aufteilung der einzelnen Flächenkomponenten:

Komponente	Wien	London	Den Haag	Santiago de Chile	Malmö	Kuoplo	Toronto
	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]
Ackerland	1,70	1,24	0,71	0,12	1,20	0,32	1,40
Weiden	0,86	k.A.	k.A.	1,01	0,90	0,15	0,80
Wald	0,45	0,11	0,47	0,19	1,60	0,47	1,20
Bebaute Fläche	0,03	k.A.	0,01	0,02	0,70	0,06	0,60
Meeresfläche	0,01	k.A.	0,02	1,11	0,30	k.A.	0,30

Tabelle 6-25: Vergleich der Ökologischen Fußabdrücke von Wien und den Referenzstädten, aufgeschlüsselt nach Flächenkategorien (ohne Energiefläche)

Das Ausmaß an Ackerlandnutzung von Wien ist im Vergleich zu allen Referenzstädten am Größten. Sie liegt etwa 20-30 % über der Ackerlandnutzung von Toronto, London und Malmö. Der Weidenflächenverbrauch von Wien liegt jenen von Malmö und Toronto am nächsten. Der Konsum an Waldfläche von Wien liegt in der Nähe der Werte von Kuoplo und Den Haag. Malmö und Toronto weisen fast den Dreifachen Flächenverbrauch auf. Die Werte für die Nutzung von Bebauter Fläche und Meeresfläche in Wien stehen nach der Modifizierten Methodik denen von Den Haag, London und Kuoplo am Nächsten.

Aufgrund unterschiedlichen methodischen Vorgehens lässt sich ein direkter Vergleich der Energieflächen nicht durchführen. Um trotz der unterschiedlichen Energieerfassungsmethodik einen annäherungsweisen Vergleich der Städte zu ermöglichen, wurde die inkorporierte Energie von den Energiekomponenten jener Vergleichsstädte subtrahiert, für die entsprechenden Angaben verfügbar sind. Ein Vergleich von drei Referenzstädten zeigt, dass ohne die inkorporierte Energie die Fußabdruckwerte von Malmö, Toronto und Kuoplo um 6 - 13 % steigen würden (Ausnahme: Santiago de Chile).

	[ha/E]	[ha/E]	Abweichung
	Mit inkorporierter Energie	Ohne inkorporierte Energie	
Toronto	7,74	8,55	+10 %
London	k.A.	k.A.	
Den Haag	k.A.	k.A.	
Santiago de Chile	2,44	2,39	- 2 %
Malmö	7,20	7,60	+6 %
Kuoplo	3,66	4,12	+13 %

Tabelle 6-26: Auswirkung der inkorporierten Energie auf den Wert der Energiekomponente der Referenzstädte

Im Sinne der Originalmethodik führt dieses Resultat zur Schlussfolgerung, dass je mehr Konsumgüter – und folglich inkorporierte Energie - von einer Stadt oder Region exportiert werden, desto kleiner ihr Fußabdruck wird, und umso nachhaltiger diese Stadt wäre. Dieses Beispiel erlaubt zwei Erkenntnisse bezüglich der Grenzen der Originalmethodik zu gewinnen, und zwar:

1. Als Instrument zum Management von Ressourcen ist die Originalmethodik nur begrenzt anzuwenden, da die Interpretation des Fußabdruckwertes zu falschen Schlüssen für die Entwicklung einer Stadt oder Region führen könnte.
2. Das Konzept der inkorporierten Energie muss überarbeitet werden.

6.3.6 Vergleich mit dem Ökologischen Fußabdruck von Österreich

Für die Gegenüberstellung des Modifizierten Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien mit dem Wert von Österreich wäre es erforderlich, auch den Fußabdruck für Österreich neu zu berechnen, da Energie, Abfallwirtschaft und Volumenverbrauch unterschiedlich bzw. nach der Originalmethodik nicht erfasst werden.

7 Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerungen werden, bezogen auf die Zielsetzung der Studie und auf die drei Gruppen von Fragestellungen, separat aufgelistet:

7.1 Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien – IST - SOLL

Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien wurde nach der von Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] entwickelten Methodik (Originalmethodik) und nach einer von den Autoren dieses Berichtes weiterentwickelten Methodik (Modifizierte Methodik) berechnet. Die Gründe dafür sind, dass die Anwendung der Originalmethodik zu schwerwiegenden Problemen in Bezug auf die Energie- und Datenerfassung führt, und daher ihre Anwendung konkret für die Fallstudie Wien nur bedingt geeignet ist.

Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien, berechnet nach der Methodik von Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] und den Datenkategorien [Wackernagel et al., 1997], beträgt mindestens **3,9 ha/E**.

Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien, berechnet nach der Modifizierten Methodik, beläuft sich auf mindestens **3,1 ha/E**.

Ein Vergleich mit dem von Wackernagel [Wackernagel et al., 1997] definierten weltdurchschnittlichen SOLL-Fußabdruck von 1,7 ha/E zeigt, dass die global der Stadt zur Verfügung stehenden geographischen Fläche alleine nicht ausreicht, um den Unterhalt der Stadt zu sichern. Als Folge müssten konkrete Maßnahmen getroffen werden, um eine umweltgerechte und chancengleiche Entwicklung für die kommenden Generationen gewährleisten zu können.

Die entscheidenden Maßnahmen, die zu einer Reduktion des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien führen würden, liegen sowohl bei der Originalmethodik als auch bei Modifizierten Methodik im Energiesektor, bei der Weidenfläche- und Ackerlandnutzung. Der Unterschied besteht neben der Differenz von etwa 1 ha/E.a in der Art und Weise wie das Ergebnis ermittelt wurde.

Der ökologische Fußabdruck der Stadt Wien nach der Originalmethodik berechnet, übersteigt die real verfügbare Fläche der Stadt um das 150-fache. Bei Einhaltung des von Wackernagel definierten maximal zulässigen Fußabdruckes von 1,7 ha/E.a, würde die real verfügbare Fläche der Stadt Wien um das 66-fache überschritten werden.

7.2 Vergleich Wien mit anderen Städten und mit Österreich

Der Vergleich mit vier Großstädten und einer urbanen Region erlaubt, die Stellung der Stadt Wien folgenderweise zu charakterisieren:

- In Bezug auf den pro-Kopf-Wert des Ökologischen Fußabdruckes berechnet nach der Originalmethodik liegt die Stadt Wien im Bereich von Kuopio. Die Ökologischen Fußabdrücke von London und Santiago de Chile sind um etwa 25 % niedriger. Der

Fußabdruck von Den Haag ist 1,3x und diejenigen von Malmö und Toronto sind um etwa 1,8x größer.

- Die drei zentralen Flächenkomponenten für die Stadt Wien sind die Energiefläche, die Weiden- und Ackerlandflächen. Dies trifft bei den Energie- und Ackerlandflächen für die meisten Referenzstädte ebenfalls zu. Die Stadt Wien zeigt eine minimale Flächennutzung in bezug auf bebaute Fläche, Meeresfläche und Wald.

Ein Vergleich mit dem Ökologischen Fußabdruck von Österreich zeigt, dass der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien (Originalmethodik) um etwa 6 % kleiner als jener von Österreich ist.

In den sechs untersuchten Flächenkomponenten gibt es jedoch teilweise erhebliche Unterschiede zwischen Wien und dem österreichischen Durchschnitt.

- Der Anteil an Bebauter Fläche liegt in Wien um 92 % unter jener von Österreich.
- Der Waldflächenverbrauch von Wien liegt etwa um die Hälfte unter jener von Österreich, während die Energiefläche etwa um die Hälfte über jener von Österreich liegt. Der Ackerlandverbrauch liegt etwa 40 % unter jenem von Österreich.

7.3 Schlussfolgerungen zur Datenlage

Die Datenlage spielt eine Schlüsselrolle bei der Bestimmung des Ökologischen Fußabdruckes. Die wichtigsten Erkenntnisse in diesem Bereich lassen sich folgenderweise formulieren:

- In Bezug auf die Berechnung eines repräsentativen Ökologischen Fußabdruckes ist es notwendig, keine Durchschnittsdatensätze, sondern für die zu untersuchende Stadt typische Datensätze zu benutzen.
- In Hinsicht auf die Möglichkeit den Ökologischen Fußabdruck einer Stadt mit jenen Fußabdrücken anderer Städten/Regionen zu vergleichen, ist es notwendig, dass alle potentiellen Referenzpartner ein möglichst ähnliches Vorgehen wählen und eine möglichst einheitliche Datenbasis verwenden. Ist das nicht möglich, wird ein Vergleich erheblich erschwert.
- Für die Ermittlung des Ökologischen Fußabdrucks der Stadt Wien erweist sich die Datenlage aus drei Gründen als nicht zufriedenstellend:
 - a) konkret für Wien existieren praktisch sehr wenig spezifische Daten, die auf den Konsum der Stadt schließen lassen.
 - b) die meisten Datensätze erfassen Produktionswerte, im besten Fall auch Import-/Exportangaben für den ausländischen Handel. Dadurch können die realen Massenströme nur unzureichend erhoben werden.
 - c) seit 1995 werden die Güterdaten in Form ihres monetären Wertes ermittelt. Die Umrechnung auf Mengenangaben kann dadurch mit Ungenauigkeiten behaftet werden. Für 2001 ist jedoch wieder eine mengenmäßige Erfassung geplant.

7.4 Schlussfolgerungen zur Methodik

Die Methodik zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdrucks weist die folgenden zwei Hauptvorteile auf:

- die Möglichkeit, die Wechselwirkungen zwischen Anthroposphäre und Umwelt auf eine anschauliche und sehr kommunikative Art zu vermitteln, und
- sie ist ein geeignetes Mittel für angewandte Nachhaltigkeit, d.h. ein handhabbarer Parameter für die Visualisierung der Nachhaltigkeit und Umweltschonung zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Abgeleitet vom derzeitigen Entwicklungsstadium der Methodik, der Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks sowie von den in der Studie gesammelten Erkenntnissen, lassen sich acht Schwerpunkte für die Weiterentwicklung der Methodik definieren. Diese haben als Anstoß für die im zweiten Teil der Studie unternommene methodische Weiterentwicklung gedient:

- Gewährleistung einer bezüglich der Emissionen repräsentativen Erfassung von Abfall, Abwasser und Abgas (Abfallwirtschaft).
- Gewährleistung einer bezüglich der Produktion und des Konsums repräsentativen Erfassung ihrer Emissionen, zusätzlich zu den CO₂-Emissionen.
- Verzicht auf die Annahme von Klimastabilität, d.h. Berücksichtigung der Treibhausgasemissionen der Anthroposphäre.
- Entwicklung eines einheitlichen Berechnungsvorgehens zur Energieerfassung und Überarbeitung des Konzeptes der in den Gütern inkorporierten Energie. Das Letztere kann zu falschen Ergebnissen führen, z.B. im Fall von Städten und Regionen, die mehr Güter exportieren. Dies resultiert in einem tieferen Fußabdruckwert, was auch für eine nachhaltigere Ressourcen- resp. Flächennutzung sprechen sollte.
- Weiterentwicklung einer Konvention über die Umrechnungsmöglichkeiten für die Energieäquivalente, zusätzlich zu den CO₂-Einheiten, da die Letzteren nur eines der Produkte bei der Nutzung fossiler Energieträger zur Energiegewinnung darstellen.
- Darstellung der Ertrags-/Absorptionskoeffizienten als zeitliche Funktionen, sodass ihre zeitlichen Veränderungen realitätsnäher nachvollzogen werden können.
- Definition einer räumlichen Systemgrenze für das zu untersuchende Objekt, welche die vollständige Erfassung der Güter erlauben würde und die Doppelzählung bzw. die Nichtberücksichtigung der ökologischen Rücksäcke vermeiden würde.
- Methodischer Mangel in Bezug auf die Erfassung von volumetrischen Ressourcen: Rohstoffe wie Gestein und Erdöl zur Herstellung von Kunststoffen und Chemikalien sowie Ablagerungsvolumina zur Abfalldeponierung können im derzeitigen Entwicklungsstadium der Originalmethodik nicht erfasst werden, obwohl sie eine wesentliche Rolle des menschlichen Konsums darstellen. Hierzu gehört auch die Frage, analog den energetischen Rücksäcken, wie das bestehende Lager bei der Nutzung volumetrischer Ressourcen (Gebäudebestand, verfülltes Deponievolumen und Altlasten) methodisch korrekt erfasst werden soll.

7.5 Handlungsempfehlungen der Autoren

1. Der Stadt Wien wird empfohlen, am EU-Programm „Towards a Local Sustainability Profile - European Common Indicators“ teilzunehmen.

Die Stadt Wien hat die Aalborg Charter unterschrieben. Damit hat sich die öffentliche Verwaltung verpflichtet, Systeme und Verfahren einzurichten, die es ihr ermöglichen, entweder festzustellen oder zu überprüfen, ob die Stadt Fortschritte in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung macht oder nicht. Durch eine Teilnahme am European Common Indicators Programm setzt die Stadt Wien einen weiteren Schritt in Richtung Umsetzung der Aalborg Charter. Die CO₂-Emissionen und der „Ökologische Fußabdruck“ sind zwei der möglichen Indikatoren.

2. Der Stadt Wien wird empfohlen, sich zukünftig mit der Frage auseinander zusetzen, welche der vielen möglichen Indikatoren für die Stadt die Aussagekräftigsten sind.

Auch ohne Teilnahme am European Common Indicators Programm sollte sich die Stadt Wien überlegen, welche der möglichen Indikatoren für die Stadt die Geeignetsten sind. Die Stadt Wien könnte in der Diskussionen über mögliche Indikatoren für Städte eine Vorreiterrolle übernehmen und eventuell zusätzlich zu den vorhandenen neue für sie maßgeschneiderte Indikatoren entwickeln. Neben dem „Ökologischen Fußabdruck“ wird in dem im 5. Rahmenprogramm durchgeführten Projekt Pastille (Förderung der Umsetzung von Nachhaltigkeit auf lokaler Ebene in Europa durch den Einsatz von Indikatoren) die Frage des Einsatzes von Indikatoren diskutiert. Indikatoren eignen sich außerdem sehr gut für die Information der Bevölkerung und damit für Öffentlichkeitsarbeit des Magistrats.

3. Wenn sich die Stadt Wien entscheidet, den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien als einen Nachhaltigkeitsindikator einzusetzen, dann sollte aus der Methodik ein „Tool“ entwickelt werden, damit sowohl die Datenerfassung standardisiert wird als auch eine Vergleichbarkeit gegeben ist.

Gegenwärtig wird die Erstellung des Ökologischen Fußabdrucks durch eine Reihe von praktischen und methodischen Problemen erschwert. Das „Tool“ soll die zu erhebenden Daten, die Art der Erhebung und die Auswertung der Daten umfassen.

4. Aufgrund der unzureichenden Datenlage wird der Stadt Wien empfohlen, auf das ÖSTAT einzuwirken, den Konsum auch auf Bundesländerebene zu erheben.

Bezüglich des Massenflusses der in Wien konsumierten Güter sind sowohl vom ÖSTAT als auch von der MA 18 keine Daten verfügbar, d.h. es sind weder Informationen über den massenmäßigen Konsum in den Privathaushalten noch über die für Wien produzierten Produkte vorhanden.

5. Alle in Wien konsumierten Produkte haben einen ökologischen Rucksack. Der Magistrat der Stadt Wien als wichtiger Konsument sollte beim Einkauf seiner Produkte diese Rucksäcke berücksichtigen. Dies könnte beispielsweise im bereits laufenden „Öko Kauf Projekt“ erfolgen.

Bei der Methode des Ökologischen Fußabdruckes ist es ein energetischer Rucksack, bei der MIPS Methode (=Materialintensität per Service Einheit - Wuppertal Institut) ist es ein ökologischer Rucksack. Es sollten jene Produkte bevorzugt werden, deren Rucksack klein bzw. am kleinsten ist.

6. Der Ökologische Fußabdruck ist ein einfacher und klar verständlicher Indikator für Nachhaltigkeit. Er sollte zukünftig in Schulen, bei der Öffentlichkeitsarbeit und bei Lokale Agenda 21 Prozessen eingesetzt werden.

Der Ökologische Fußabdruck ist durch seine Einfachheit in der Aussage ein gutes Hilfsmittel, um bei der Bevölkerung den Begriff „Nachhaltigkeit“ begreifbarer zu machen. Und er bietet die Möglichkeit, den persönlichen Fußabdruck zu erfassen und durch die Wahl unterschiedlicher Produkte den individuellen Fußabdruck positiv zu beeinflussen.

8 Zusammenfassung

Der derzeitige Ressourcenverbrauch und die Emissionen der Anthroposphäre übersteigen die Erneuerungsraten der natürlichen Ökosysteme bei weitem. Es wird daher nach Wegen gesucht, um die ständig wachsenden Bedürfnisse der modernen Gesellschaft zu befriedigen, sodass ein hoher Lebensstandard gesichert bleibt, ohne dabei gleichzeitig die kommenden Generationen in ihrem Recht an Ressourcenverfügbarkeit zu benachteiligen. Eine der wichtigsten Aufgaben der heutigen Forschung und angewandter Umweltwissenschaften besteht daher darin, geeignete Indikatoren zur Qualifizierung und Quantifizierung des Ressourcenkonsums zu entwickeln, um ihre optimale und nachhaltige Nutzung zu gewährleisten sowie den Auswirkungen dieses Konsums Rechnung tragen zu können.

Als einer der bekanntesten Indikatoren des menschlichen Ressourcenkonsums gilt der Ökologische Fußabdruck, entwickelt von der Arbeitsgruppe für Gesunde und Nachhaltige Gemeinden an der Universität von British-Kolumbien, Kanada [Wackernagel & Rees, 1996]. Der Ökologische Fußabdruck stellt ein Maß für die nachhaltige Entwicklung des Menschen unter gegebenen gesellschaftlichen Bedingungen dar. **Mit Hilfe des Ökologischen Fußabdruckes wird der anthropogene Konsum von Energie und Gütern einer Region bestimmt und in jene Wasser- und Landflächen umgerechnet, die für Versorgung mit Gütern und Rohstoffen und für die Entsorgung der Abfälle benötigt werden.**

Dieses Gedankenmodell basiert darauf, dass eine Stadt (im weiteren Sinne eine Region, d.h. auch ein Staat) ein von der Außenwelt isoliertes System bildet, welches ihren Stoffwechsel durch eine begrenzte, um die Stadt liegende produktive Land- und Wasserfläche deckt. Diese Fläche stellt alle konsumierten natürlichen Ressourcen zur Verfügung, und nimmt die gasförmigen, flüssigen und festen Abfälle auf.

Die Methodik wurde weltweit in zahlreichen Studien zur Bestimmung der Ökologischen Fußabdrücke von 52 Ländern, mehreren Städten und urbanen Regionen erfolgreich angewendet. Sie hat sich als ein äußerst anschauliches und sehr praktisch orientiertes Mittel für eine erste Identifikation der Ressourcennutzung und ihrer Verteilung etabliert. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass der Ökologische Fußabdruck eines Landes eine Durchschnittsgröße über das ganze Land darstellt, und damit lokale städtische Besonderheiten nur unzureichend berücksichtigt werden. Daher ist zusätzlich die systematische Erfassung individueller Fußabdrücke vor allem von größeren Städten notwendig.

8.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Projektes ist es, den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien zu bestimmen, ihn in Hinblick auf seine Nachhaltigkeit zu beurteilen und anschließend mit den Fußabdruckwerten anderer Großstädte und jenem von Österreich zu vergleichen.

Zusätzlich dazu wird ein methodischer Beitrag zur derzeitigen Weiterentwicklung der Methodik, mit den Schwerpunkten Energieerfassung und Berücksichtigung von volumetrischen Ressourcen und der Abfallwirtschaft, geleistet.

8.2 Methodisches Vorgehen

Nach Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] wird der Konsum von Energie und Gütern als

$$\text{Konsum} = \text{Produktion} + \text{Import} - \text{Export}$$

definiert. Er beinhaltet also sowohl den jährlichen Güter- und Energieverbrauch als auch das dadurch entstehende Lager, ohne zwischen dem direkten Konsum und dem Lager zu unterscheiden.

Die gesamte Fußabdruckfläche wird in zwei Hauptteile gegliedert, und zwar in eine reine Flächenkomponente und in eine energetische Flächenkomponente. Die **Flächenkomponente** entspricht dem direkten Verbrauch von Ackerland, Weiden, Wald, Meeresoberfläche und bebauter Fläche zum Anbau und Produktion von Getreide, Obst, Gemüse und anderen Nahrungsmitteln sowie zur Gewinnung von Rohstoffen wie Baumwolle, Wolle, Tabak, Kaffee, Tee. Die Auswahl dieser Güter basiert auf einer Originalgüterliste von [Wackernagel et al., 1997], welche zur Bestimmung der Ökologischen Fußabdrücke von Ländern, Städten und urbanen Regionen benutzt wird. Durch die entsprechenden Ertragskoeffizienten für die betrachtete Region wird der Konsum an diesen landwirtschaftlichen Produkten als Fläche „übersetzt“ dargestellt. Die **energetische Komponente** berücksichtigt einerseits die Nutzung von fossilen Energieträgern, unterteilt in flüssig (Benzin, Diesel, Heizöl etc.), fest (Kohle) und gasförmig (Naturgas), sowie von alternativen Energiequellen, wie beispielsweise Wasserkraft. Zusätzlich beinhaltet die energetische Komponente auch die Energieträger für die Produktion von elektrischer Energie und die in den nettoimportierten Gebrauchsgütern eingebaute Energie, d.h. die energetischen „Rucksäcke“ dieser Güter. Das übliche Vorgehen bei der Darstellung des Energieverbrauchs als Fläche ist, diesen in Kohlendioxideinheiten umzurechnen und durch die Absorptionskapazität der grünen Biomasse in Fläche umzuwandeln.

Nach Addierung dieser Flächenkomponenten ergibt sich der Ökologische Fußabdruck der untersuchten Region. Zur besseren Vergleichbarkeit wird der Ökologische Fußabdruck schlussendlich als pro-Kopf-Wert dargestellt.

8.3 Ergebnisse

Diesem Vorgehen folgend, wurde ein erster Ökologischer Fußabdruck der Stadt Wien berechnet. Mit diesem Fußabdruck wurde eine Vergleichsbasis mit anderen Großstädten und urbanen Regionen geschaffen sowie die Eignung der Methodik für die Fallstudie Wien überprüft. **Dieser Ökologische Fußabdruck von Wien nach Wackernagel und Rees beträgt 3,9 ha/E.** Damit liegt der Fußabdruck von Wien in der Nähe von Kuopio. Nur die Ökologischen Fußabdrücke von London und Santiago de Chile sind um etwa 25 % niedriger. Der Ökologische Fußabdruck von Den Haag ist 1,3x und diejenigen von Malmö und Toronto sind um etwa 1,8x größer.

Eine nach Flächenkategorien aufgeschlüsselte Gegenüberstellung dieser Fußabdruckwerte mit dem weltdurchschnittlichen SOLL-Wert sowie mit den Werten anderer Großstädte und von Österreich wird in den folgenden Abbildungen dargestellt.

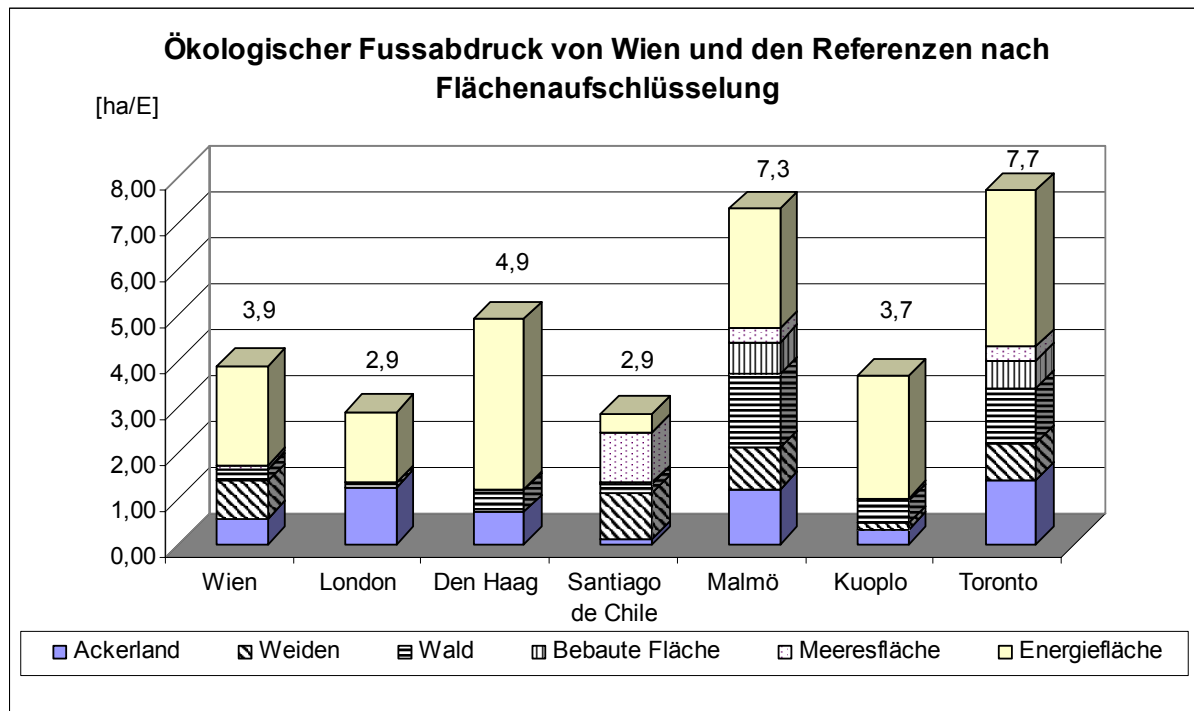


Abbildung 8-1: Vergleich des Ökologischen Fußabdrucks von Wien (Originalmethodik) mit den Referenzregionen

Quellen: London - [Girardet, 1996b], [Girardet, 1996a], Den Haag – [Breumelhof, 1998], Santiago de Chile – [Wackernagel, eingereicht], Malmö – [Wackernagel et al., 1999a], Kuoplo – [Hakanen, 1999], Toronto - [Onisto et al., 1998]

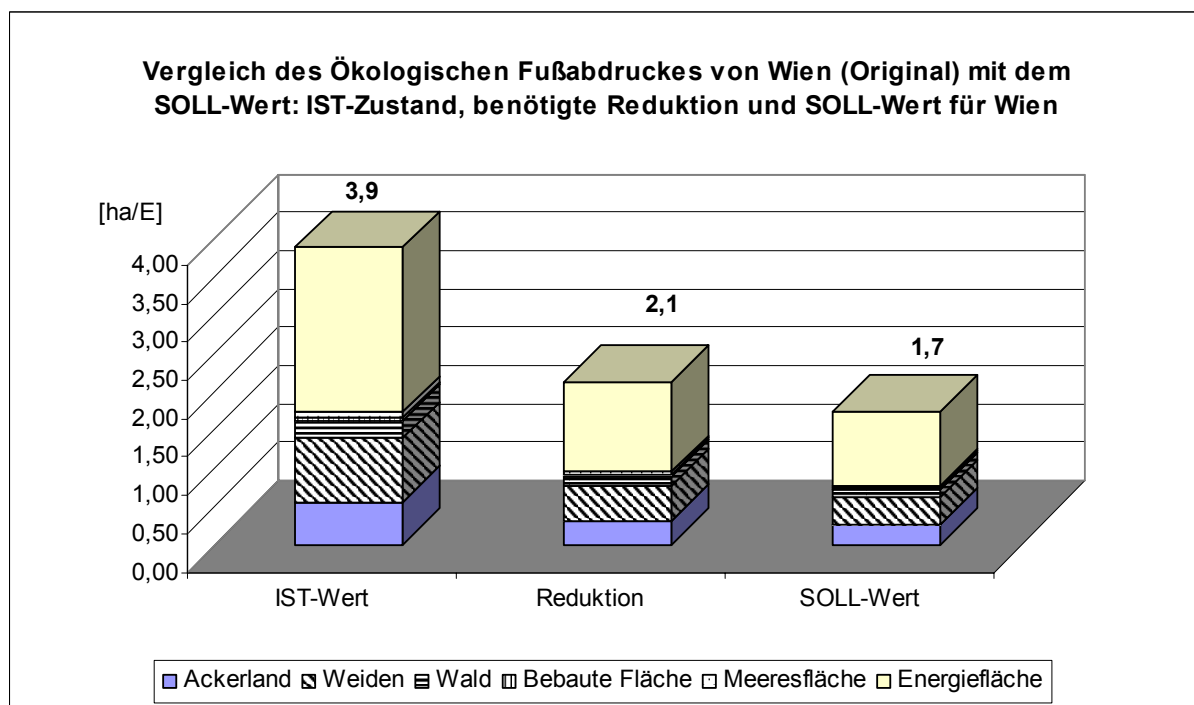


Abbildung 8-2: Gegenüberstellung des Ökologischen Fußabdrucks (Original) von Wien mit dem weltdurchschnittlichen SOLL-Wert und die notwendige Reduktion

Die Unterschiede zu den Vergleichsstädten basieren allgemein auf zwei Faktoren: der Liste der ausgewählten Güter und deren Ertragskoeffizienten. **Der Ökologische Fußabdruck von Wien wird im Wesentlichen von drei Komponenten geprägt, „Fossile Energie“, „Weiden“ und „Ackerland“.** Diese Kategorien gemeinsam sind für 91 % des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien verantwortlich.

Der Energieflächenverbrauch der Stadt Wien liegt in der Nähe von Malmö und Kuoplo. London verbraucht um etwa 30 %, Santiago de Chile um 5x weniger Energiefläche. Der Verbrauch an Energiefläche von Den Haag und Toronto liegt um etwa 70 % bzw. 60 % über dem Energieflächenverbrauch von Wien.

Die Weidenflächennutzung von Wien liegt in der Nähe von Toronto, Malmö und Santiago de Chile. Die Weidenutzungskomponente von Kuoplo liegt um etwa 80 % unter dem Wert von Wien. Das Fleisch und die Milch(produkte) sind hauptverantwortlich für die Größe der Wiener Fußabdruckkomponente Weidenflächennutzung.

Bezüglich der Nutzung von Ackerland verbraucht Wien ähnlich viel Fläche wie Den Haag. Die Ackerlandnutzung von Malmö, London und Toronto ist fast doppelt so groß. Zwei wesentliche Faktoren für die Größe dieser Fußabdruckkomponente für Wien sind der Verbrauch von Nahrungsmitteln vor allem von Getreide und dessen Ertragskoeffizient.

Um den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien dem umweltverträglichen Grenzwert von 1,7 ha/E anzunähern, wäre eine Reduktion des aktuellen Fußabdruckes um mindestens 55 % notwendig. Diese würde einem Rückgang von 2,1 ha/E entsprechen und ergibt sich bei einer gleichmäßigen (nicht gewichteten) Reduktion des jeweiligen Flächentypus um 55 %. Dieser Rückgang betrifft die Energiefläche, die Weiden- und Ackerlandfläche am stärksten. Die Reduktionsrate würde die Kategorien „Meeresfläche“ und „Bebaute Fläche“ am wenigsten betreffen.

Der Vergleich mit dem Ökologischen Fußabdruck von Österreich zeigt, dass die Versorgung von 20 % der österreichischen Bevölkerung einen Flächenbedarf erfordert, der knapp 75 % der Landesfläche Österreichs ausmacht. Eine qualitative Gegenüberstellung der einzelnen Fußabdruckkomponenten von Wien und Österreich ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Komponente	Wien [ha/E]	Österreich [ha/E]	Vergleich W-Ö in %
Ackerland	0,55	0,9	-38 %
Weiden	0,83	0,9	-8 %
Wald	0,23	0,5	-54 %
Bebaute Fläche	0,03	0,4	-92 %
Meeresfläche	0,10	0,1	0 %
Energiefläche	2,15	1,4	+54 %
Summe	3,9	4,1	-6 %

Tabelle 8-1: Vergleich der Ökologischen Fußabdrücke von Wien und Österreich, aufgeschlüsselt nach Flächenkategorien

Die Stadt Wien verbraucht um 38 % weniger Ackerland als Österreich. Der Weidenflächenverbrauch von Wien liegt um 8 % unter jenem von Österreich. Der Waldverbrauch von Wien ist um 54 % tiefer als jener von Österreich.

Der Anteil an bebauter Fläche liegt in Wien um eine Zehnerpotenz unter jener von Österreich. Da die Daten für den Verbrauch an Meeresfläche dem Fußabdruck von Österreich [Wackernagel et al., 1997] entnommen wurden, unterscheidet sich der Verbrauch an Meeresfläche von Wien und Österreich nicht. Der Energieflächenverbrauch von Wien liegt um 54 % über jenem von Österreich.

Die Größe des Fußabdruckes hängt ab vom Konsum bestimmter Güter und deren Koeffizienten (Ertrags- und Absorptionskoeffizient). Einige wichtige Fragen in diesem Zusammenhang sind: welche Kategorien sind für den Fußabdruckwert von Wien maßgebend? Wie reagiert das Gesamtsystem auf Änderungen einzelner Parameter und welche Bedeutung können einzelne Güter oder deren Koeffizienten für das Gesamtsystem haben? Daher wurde einerseits theoretisch mittels einer mathematischen Analyse und andererseits praktisch mit einer Sensitivitätsanalyse untersucht, welche Bedeutung einzelne Güter, bzw. Gütergruppen (inkl. Energie, bzw. inkorporierte Energie) und die dazugehörigen Ertrags- und Äquivalenzkoeffizienten auf die Höhe des Fußabdruckwertes haben können bzw. haben.

Aufgrund der mathematischen Untersuchung und der Sensitivitätsanalyse können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Auf Änderungen der Absorptions- und Äquivalenzkoeffizienten reagiert das System am sensibelsten, d.h. die beiden Koeffizienten haben einen entscheidenden Einfluss auf die Größe des Fußabdruckes. Die Energie ist ebenfalls ein wesentlicher Parameter. Die Auswirkungen auf Änderungen sind zwar nicht so stark wie bei den Koeffizienten, aber dafür ist Energie ein direkt steuerbares Gut. In Summe reagiert das Gesamtsystem auf Änderungen des direkten Flächenverbrauches ähnlich wie bei der Energie. Da sich diese Zahl aus der Summe aller konsumierten Güter zusammensetzt, ist jedoch ihre Sensibilität als viel geringer einzustufen.

Der Fußabdruckwert ergibt sich als eine zufallsbedingte Überlappung der Produkte voneinander funktionell unabhängiger Parameter. Es kann nicht vorhergesagt werden, welche Kategorie ausschlaggebend für den Gesamtwert des Fußabdruckes ist, da der Konsum allein nur sekundäre Bedeutung hat. Für jeden konkreten Fall (Fußabdruck einer Stadt, Region oder Land) müssen die Ertrags-, Absorptions- und Äquivalenzkoeffizienten spezifisch ermittelt werden: eine Übertragung systemfremder Daten kann zu fehlerhaften Ergebnissen führen. Es wäre empfehlenswert, diese Koeffizienten auch als Funktion der Zeit zu untersuchen. Dadurch kann die Qualität der spezifischen Daten (Koeffizienten) abgesichert werden.

Die wichtigsten Problemstellen der Methodik und ihrer derzeitigen Anwendung sowie ihre Lösung in dieser Studie, sind, wie folgt:

1. Datenerfassung der in Betracht gezogenen Güter

Die von der Originalmethodik angegebene Güterliste ist standardisiert, was zwar einen Vergleich zwischen verschiedenen Regionen ermöglicht, aber eine Berücksichtigung des spezifischen Konsums des einzelnen Untersuchungsobjektes erschwert. Zudem existieren für viele der zu untersuchenden Güter praktisch keine spezifischen Daten für Wien: einerseits werden solche Güterkategorien in Wien kaum verbraucht (z.B. Jute), weiter werden die Güterimporte und -exporte nur auf Bundesebene erfasst, und andererseits werden seit 1995 keine Produktionsdaten als Gütermengen erhoben, sondern nur mehr als monetäre Werte. Das letztere führt zu einer fehleranfälligen Umrechnung in Mengenergebnisse.

Daher wurde im zweiten Teil dieser Studie eine auf den bestehenden statistischen Daten gestützte Güterliste benutzt, die einerseits den tatsächlichen Konsum in Wien widerspiegelt, und andererseits dem Kategorieninventar der Originalmethodik so gut wie möglich entspricht.

2. Benutzung von landesspezifischen Ertragskoeffizienten für eine Stadt

Problematisch für eine Stadt als Fallstudie erweist sich die Umrechnung von landwirtschaftlichen Gütern in Flächen, da die meisten bisher berechneten Ertragskoeffizienten Länderdurchschnittswerte darstellen bzw. für die Stadt typische Werte nur mit einem großen Datenerhebungsaufwand ermittelt werden können. Es wird daher empfohlen, für zukünftige Berechnungen des Ökologischen Fußabdruckes der Stadt Wien nicht nur auf geeignete Datensätze für die direkte Flächenbuchhaltung zu achten, sondern auch auf die Notwendigkeit hingewiesen, die für die Stadt benötigten Ertragskoeffizienten konkret zu bestimmen.

3. Erfassung von volumetrischen Ressourcen

In der Theorie sollen alle konsumierten Ressourcen in Betracht gezogen werden. In ihrer derzeitigen Anwendung aber umfasst die Originalmethodik keine volumetrischen Rohstoffe wie Gesteine und Erdöl (zur Kunststoff- und Chemikalienherstellung). Auch die durch die Mülldeponierung in Anspruch genommenen Volumina bleiben außer Acht. Eine Berücksichtigung der durch Tagebauwerke und Deponien besetzten Oberfläche würde nur formell der Idee des Ökologischen Fußabdruckes folgen, nicht aber dem realen Ressourcenverbrauch. Hier stößt die Originalmethodik an ihre Grenzen, und daher ist eine Erweiterung notwendig.

Dieses Problem wird durch die **Einführung eines volumetrischen Parameters** des Ökologischen Fußabdruckes gelöst, nämlich der **Tiefe des Ökologischen Fußabdruckes**. Die Fußabdrucktiefe ergibt sich durch Division des Volumens aus Rohstoffabbau und Mülldeponierung mit der Fußabdruckfläche und hat die Dimension $[m/ha_{EF}.E]$. Es wird dabei mit der jährlichen Volumenrate für das Bezugsjahr gearbeitet, wobei die Frage über das bestehende volumetrische Lager derzeit noch offen bleibt.

4. Berücksichtigung der Abfallwirtschaft

In der Originalmethodik wird postuliert, dass die Güter in ihrem gesamten Lebenszyklus erfasst werden sollen. Dies inkludiert auch das letzte Stadium der Produkte als Abfälle. Die bisherige Anwendung der Methodik begrenzt sich jedoch auf die Erfassung der Treibstoffemissionen, die für den Transport der Abfälle benötigt werden, und teilweise auf den Energieeinsatz für ihre Behandlung. Fragestellungen wie Emissionen, Emissionsverhalten und Ressourcenverbrauch (z.B. als Deponievolumen von Abfällen, MVA-Schlacken und Klärschlamm) bleiben unberücksichtigt. Den klimarelevanten Emissionen wird ebenfalls keine Rechnung getragen – mehr noch, es wird von der Annahme einer Klimastabilität ausgegangen.

In dieser Studie ist ein erstes Vorgehen entwickelt worden, um die Abfallwirtschaft im Ökologischen Fußabdruck zu erfassen. Die festen Abfälle werden über die für Wien angewendeten Abfallbehandlungsverfahren (Verbrennung und direkte Mülldeponierung) schlussendlich als Deponievolumen und Kohlendioxidemissionen erfasst. Das Deponievolumen wird unter dem volumetrischen Ressourcenverbrauch berücksichtigt, und die aus der Müllbehandlung stammenden Kohlenstoffemissionen werden in klimaneutrale und klimarelevante Emissionen gegliedert. Die klimaneutralen Emissionen aus der Abfall- und Abwasserbehandlung und dem privaten Haushalt werden in

Waldfläche umgerechnet dargestellt. Die klimarelevanten Emissionen aus der Müllverbrennung und der Deponierung werden zusammen mit den Kohlendioxidemissionen aus dem Verkehr (Verbrennung von Diesel und Benzin), als eine **zusätzliche (klimatische) Fußabdruckcharakteristik**, nämlich als Beitrag zum Globalerwärmungspotential (Global Warming Potential, GWP), eingeführt. Dadurch sind die wichtigsten Komponenten der Abfallwirtschaft im Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien enthalten. Nicht berücksichtigt werden die diffusen Emissionen in der Stadt sowie die Bodenkontamination mit Schwermetallen. Sie sind jedoch derzeit als methodisches Instrument im Entwicklungsstadium [Lampert, 1999].

5. Erfassung von Energie

Die Originalmethodik empfiehlt drei mögliche Verfahren zur Energieerfassung: 1. Umrechnung in Kohlendioxideinheiten und ihre anschließende Absorption durch Biomasse, 2. Umrechnung in alternative Energieträger (z.B. Methanol), und 3. Umrechnung in einst existierende Ökosysteme, die heutzutage als fossile Energieträger eingesetzt werden. Weltweit wird das erste Verfahren verwendet, und der Vergleichbarkeit halber wurde dieser Ansatz auch für die Berechnung des ersten Fußabdrucks von Wien beibehalten. Dieses Vorgehen weist allerdings **den wichtigen Nachteil auf, dass dabei Energie ausschließlich dem Kohlendioxid gleichgesetzt wird.**

Aus diesem Grund wird eine alternative Lösung vorgeschlagen. Es wird die konsumierte Energie in Fläche von Fotovoltaikanlagen umgerechnet. **Dadurch wird die Energie als eine eigene Ressource betrachtet** und daher wieder in Energieeinheiten ausgedrückt. Weiters erlaubt dieses Vorgehen, die Grundidee der Originalmethodik beizubehalten, nämlich alle konsumierten Ressourcen als Fläche darzustellen. Nicht zuletzt widerspiegelt diese Alternative auch den derzeitigen Trend in Österreich, umweltfreundliche und ressourcenschonende Energiequellen zu benutzen.

6. Konzept der inkorporierten Energie

Die Berücksichtigung von den energetischen Rücksäcken der konsumierten Güter stellt eine methodisch umstrittene Frage dar. Entweder finden alle Lager, darunter aber auch der Gebäudebestand, das Altlastenvolumen, etc., ihren Platz im Ökologischen Fußabdruck oder es muss auf die Beteiligung jeglicher Lager inkl. der energetischen Rücksäcke verzichtet werden. Zudem kann, wie oben gezeigt, die Berücksichtigung der inkorporierten Energie zu verzerrten Ergebnissen führen. Eine Untersuchung im Rahmen dieser Studie zeigt, dass ohne die Berücksichtigung der inkorporierten Energie die Ökologischen Fußabdrücke der Vergleichsstädte um bis zu 13 % steigen. Das sollte formell bedeuten, dass je mehr Güter (und daher Energie) eine Region exportiert, sie umso nachhaltiger wäre.

Aus diesen Gründen wurde im zweiten Teil der Studie auf das Konzept der inkorporierten Energie verzichtet. Dafür spricht auch die Tatsache, dass bei fehlender Statistik über die Import- und Exportflüsse der Stadt der tatsächliche Nettoimport an Energie praktisch nicht erfassbar ist. Bei einer vollständigen Berücksichtigung des Energieverbrauchs der Stadt, was auch Industrie und Landwirtschaft einschließt, wird die Annahme getroffen, dass der Import an inkorporierter Energie größenordnungsmäßig durch einen entsprechenden Export ausgeglichen wird.

Damit ergibt sich die folgende Gegenüberstellung der Originalmethodik mit der modifizierten Methodik:

Komponente	Originalmethodik	Flächentypus	Modifizierte Methodik	Flächentypus
forst- und landwirtschaftliche Güter	Flächenwert	Ackerland, Weiden, Wald, Meer, Bebaute Fläche	Angepasste Güterliste, Flächenwert	Ackerland, Weiden, Wald, Meer, Bebaute Fläche
Energie	CO ₂ -Einheiten, inkorporierte Energie	Energiefläche: CO ₂ , absorbiert von Biomasse	Energieeinheiten (Solarenergie)	Energiefläche (Fotovoltaikanlagen)
Abfallwirtschaft: Feste Abfälle	Fossile Energieträger (CO ₂)	Energiefläche CO ₂ , absorbiert von Biomasse	Fußabdrucktiefe, Fossile Energieträger (CO ₂)	Bodenvolumen (Deponievolumen), GWP, Wald
Abwasser, PHH: klimaneutrale CO ₂ -Emissionen, Klärschlamm	- - -	- - -	Flächenwert, Fußabdrucktiefe	Wald, Bodenvolumen
Abgas: klimarelevante CO ₂ , CH ₄ -Emissionen, klimaneutrale CO ₂ -Emissionen	- - -	- - -	Klimafaktor, Flächenwert	GWP-Beitrag, Wald
Volumetrische Ressourcen	-	-	Fußabdrucktiefe (Baumaterialien, Erdöl)	Rohstoffvolumen

Tabelle 8-2: Gegenüberstellung der Originalmethodik mit der modifizierten Methodik

Kategorie	EF Original [ha/E]	EF Modifiziert [ha/E]
Fossile Energie	2,15	0,03
Bebaute Fläche	0,03	0,03
Ackerland	0,55	1,70
Weiden	0,83	0,86
Wald	0,23	0,45
Meer	0,07	0,01
pro-Kopf-Fläche [ha/E]	3,9	3,1
Total Fläche [ha]	6.236.447	4.980.476
		Fußabdrucktiefe [m/ha_{EF}-a]
Deponievolumen		0,00001
Rohstoffvolumen (Baustoffe, Erdöl)		0,00027
Total Fußabdrucktiefe		0,00028
		[t CO₂/E.a]
Abfallwirtschaft		2,14
Verkehr		1,47
Beitrag zum GWP		3,61

Tabelle 8-3: Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien, berechnet nach der Originalmethodik (EF Original) und nach der Modifizierten (EF Modifiziert)

Ein Vergleich der zwei Fußabdruckwerte, berechnet nach der Originalmethodik und nach der modifizierten Methodik, ist in der Tabelle 8-3 dargestellt. Da es nicht möglich ist, alle Gebrauchsgüter in einer Region zu erfassen, handelt es sich in jedem Fall – für Wien als auch für die Vergleichsregionen – um Minimalwerte der Fußabdrücke.

Der Modifizierte Ökologische Fußabdruck von Wien besteht aus den folgenden Komponenten: einer Flächenkomponente entsprechend der Originalmethodik, diese schließt auch den Energiekonsum ein; einer volumetrischen (Fußabdrucktiefe) und einer klimatischen (Beitrag zum GWP) Komponente. Die volumetrische und die klimatische Komponente stellen eine Erweiterung der Originalmethodik dar und ermöglichen die Ermittlung eines differenzierten Fußabdruckes.

Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien, berechnet nach der Originalmethodik beträgt mindestens 3,9 ha/E und der nach der Modifizierten Methodik ermittelte Fußabdruck beläuft sich auf mindestens 3,1 ha/E.

Der nach der Originalmethodik berechnete Wert des Fußabdruckes übersteigt den Modifizierten Fußabdruck um etwa 20 %. Die Werte von drei der insgesamt sechs Flächenkategorien des Modifizierten Fußabdruckes, nämlich diejenigen für Weiden, Bebaute Fläche und Meeresfläche, unterscheiden sich kaum von den nach der Originalmethodik berechneten Werten. Die Fläche „Ackerland“ ist im modifizierten Fußabdruck 3x und jene für Wald ist 2x höher als nach der Originalmethodik. Der Unterschied ist vor allem auf die adaptierte Güterliste zurückzuführen. Unterschiede ergeben sich weiters in der Energiefläche, welche durch die Berücksichtigung der Kohlendioxidemissionen aus der Energiegewinnung als Beitrag zum GWP die zwei Werte nicht miteinander vergleichbar macht. „Versteckt“ in diesem Vergleich bleiben auch der Anspruch der Stadt an volumetrischen Ressourcen sowie die Stellung der Abfallwirtschaft. In beiden Fällen ist die Nutzung an Bebauter Fläche und Meeresfläche minimal (≤ 1 % des pro-Kopf-Wertes).

Die wichtigsten Parameter des Ökologischen Fußabdrucks von Wien sind daher neben der Energiefläche, der Konsum an Weiden- und Ackerlandfläche.

Als Kriterium für die Bewertung des Ökologischen Fußabdruckes einer Region dient der von Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996] definierte SOLL-Wert. Dieser stellt die maximal zulässige pro-Kopf-Flächennutzung dar, bis zu der eine nachhaltige Entwicklung der Anthroposphäre und gleichzeitige Erhaltung der Biodiversität gewährleistet sind. Der **SOLL-Wert** beträgt **1,7 ha/E** und ist aufgrund der dem Menschen rein geographisch zur Verfügung stehenden produktiven Erdoberfläche berechnet, unter Berücksichtigung von weiteren 12 % zur Sicherung der Biodiversität. Ein Vergleich des IST- mit dem SOLL-Wert für den Modifizierten Fußabdruck der Stadt Wien ist nur in Bezug auf die Kategorien Ackerland, Weiden, Wald, Bebaute Fläche und Meeresfläche möglich, nicht jedoch für die Energiefläche und damit auch nicht für den Gesamtwert.

Die Flächenkomponente des Modifizierten IST-Fußabdruckes von Wien übersteigt den SOLL-Wert um 45 %. Die notwendige Reduktion, gleichmäßig über alle Flächenkategorien verteilt, beträgt 1,4 ha/E. Eine gezielte und flächengewichtete Reduktion würde sich allerdings am stärksten auf den Ackerlandkonsum auswirken, gefolgt vom Weidenlandverbrauch. Um aber davon konkrete Maßnahmen ableiten zu können, müsste sich die Methodik des Ökologischen Fußabdruckes auf einer Untersuchung des Stadtmetabolismus stützen, welche die systematische Erfassung der wichtigsten Güterflüsse beinhalten würde. Außerdem bleiben die klimatische Charakteristik und die Fußabdrucktiefe

der Stadt unberücksichtigt, für welche noch keine SOLL- und Referenzwerte bzw. Bewertungskriterien bestehen.

Ein Vergleich des gesamten Fußabdruckwertes des Modifizierten Fußabdruckes mit jenen anderer Städte ist nicht mehr möglich. Daher werden nur fünf der insgesamt sechs Flächenkategorien gegenübergestellt. Diese fünf Kategorien können, wie bereits erwähnt, nur bedingt miteinander verglichen werden.

Komponente	Wien	London	Den Haag	Santiago de Chile	Malmö	Kuoplo	Toronto
	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]	[ha/E]
Ackerland	1,7	1,24	0,71	0,12	1,20	0,32	1,40
Weiden	0,8	k.A.	k.A.	1,01	0,90	0,15	0,80
Wald	0,4	0,11	0,47	0,19	1,60	0,47	1,20
Bebaute Fläche	0,0	k.A.	0,01	0,02	0,70	0,06	0,60
Meeresfläche	0,0	k.A.	0,02	1,11	0,30	k.A.	0,30

Tabelle 8-4: Vergleich der Ökologischen Fußabdrücke von Wien und den Referenzstädten, aufgeschlüsselt nach Flächenkategorien (ohne Energiefläche)

Das Ausmaß an Ackerlandnutzung von Wien ist im Vergleich zu allen Referenzstädten am Größten. Sie liegt etwa 20-30 % über der Ackerlandnutzung von Toronto, London und Malmö. Der Weidenflächenverbrauch von Wien liegt jenen von Malmö und Toronto am nächsten. Der Konsum an Waldfläche von Wien liegt in der Nähe der Werte von Kuoplo und Den Haag. Malmö und Toronto weisen fast den Dreifachen Flächenverbrauch auf. Die Werte für die Nutzung von bebauter Fläche und Meeresfläche in Wien stehen nach der Modifizierten Methodik denen von Den Haag, London und Kuoplo am Nächsten.

Aufgrund unterschiedlichen methodischen Vorgehens lässt sich ein direkter Vergleich der Energieflächen nicht durchführen. Ein Vergleich von vier Referenzstädten zeigt, dass ohne die inkorporierte Energie die Fußabdruckwerte von Malmö, Toronto und Kuoplo um 6 - 13 % steigen würden (Ausnahme: Santiago de Chile). Daraus folgt, dass je mehr Konsumgüter – und folglich inkorporierte Energie - von einer Stadt oder Region exportiert werden, desto kleiner ihr Fußabdruck wird, und umso nachhaltiger diese Stadt wäre. Die Konsequenz daraus ist, dass das Konzept der inkorporierten Energie überarbeitet werden muss.

Ein Vergleich mit dem Ökologischen Fußabdruck von Österreich würde bedingen, dass auch dieser nach der modifizierten Methodik berechnet wird.

8.4 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen der Autoren

Die in dieser Studie gewonnenen Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen lassen sich in acht Gruppen zusammenfassen:

1. Die Stadt Wien ist mit typischen europäischen und amerikanischen Großstädten vergleichbar und liegt eher sowohl unter deren Durchschnitt als auch unter dem österreichischen Mittelwert. Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien weicht allerdings vom SOLL-Wert ab, daher sind Maßnahmen zu seiner Reduktion erforderlich. Der Ökologische Fußabdruck, auch wenn ein sehr praktisch orientierter und

anschaulicher Nachhaltigkeitsindikator, reicht allein jedoch nicht als Instrument zur Planung einer Strategie für die optimale und umweltfreundliche Ressourcenbewirtschaftung aus.

2. Die Ermittlung des Ökologischen Fußabdruckes einer Stadt, und konkret von Wien, hängt entscheidend von der Verfügbarkeit und der Qualität vollständiger Datensätze ab, die dem spezifischen Konsum der Region (Stadt) entsprechen.
3. Die Originalmethodik zur Bestimmung des Ökologischen Fußabdrucks weist in ihrem derzeitigen Entwicklungsstadium Problemstellen auf, die zumindest im Fall von Wien zu unvollständigen und verzerrten Werten führen. Die wichtigsten Probleme beziehen sich dabei auf die Energieerfassung und –umrechnung, auf die energetischen Rucksäcke der Güter, auf die Erfassung von volumetrischen Ressourcen und auf die Berücksichtigung der Abfallwirtschaft in ihren bedeutendsten Auswirkungen auf die Umwelt. Die in dieser Studie geleisteten methodischen Beiträge werden als ein erster Schritt zur Weiterentwicklung der Originalmethodik gesehen, bedingen dabei aber auch die Festlegung von einem einheitlichen Vorgehen und von einer Konvention zur Ressourcenerfassung.
4. Der Stadt Wien wird empfohlen, am Programm „Towards a Local Sustainability Profile - European Common Indicators“ teilzunehmen.
5. Der Stadt Wien wird empfohlen, sich zukünftig mit der Frage auseinander zusetzen, welche der vielen möglichen Nachhaltigkeitsindikatoren für die Stadt die Aussagekräftigsten sind. Wenn sich die Stadt Wien entscheidet, den Ökologischen Fußabdruck der Stadt Wien als einen Indikator einzusetzen, dann sollte aus der Methodik ein „Tool“ entwickelt werden, damit sowohl die Datenerfassung standardisiert wird als auch die Vergleichbarkeit gegeben ist.
6. Aufgrund der unzureichenden Datenlage wird der Stadt Wien empfohlen, auf das ÖSTAT einzuwirken, den Konsum auch auf Bundesländerebene zu erheben.
7. Alle in Wien konsumierten Produkte haben einen ökologischen Rucksack. Der Magistrat der Stadt Wien als wichtiger Konsument sollte beim Einkauf seiner Produkte diese Rucksäcke berücksichtigen. Dies könnte beispielsweise im „ÖkoKauf Projekt“ erfolgen.
8. Der Ökologische Fußabdruck ist ein einfacher und klar verständlicher Indikator für Nachhaltigkeit. Er sollte zukünftig in Schulen, bei der Öffentlichkeitsarbeit und für Lokale Agenda 21 Prozesse eingesetzt werden.

9 Summary

Our current rate of resource consumption far exceeds the rate at which natural ecosystems can regenerate. In order to meet the needs of our current standard of living without harming the capacity of future generations to also do so, new resource management strategies are required. One important task for contemporary environmental science is therefore to develop suitable indicators, which classify and quantify resource consumption. Such indicators can be used both to ensure that resources are utilised in an optimal and sustainable manner, and to monitor the environmental impacts of consumption.

One of the most well known indicators of human resource consumption is the Ecological Footprint, which was developed by the Task Group for Healthy and Sustainable Communities at the University of British Columbia, Canada [Wackernagel & Rees, 1996]. The Ecological Footprint represents a measure of the sustainability of human development under certain social conditions. **The Ecological Footprint calculates the energy and goods consumed by humans in a region. It is expressed in terms of the area of land and water required to supply goods and raw materials and to dispose of waste.**

This virtual model is based on the idea of a city (in its broadest terms a region, i.e. a province or state) being a system isolated from the outside world. The city's metabolism is served by a productive area of land and water surrounding its borders. This area supplies the city with all needed natural resources and absorbs its gaseous, liquid and solid wastes.

This method has been successfully applied around the world to calculate the Ecological Footprints of 52 nations, as well as a number of cities and urban regions. It has proved to be an extremely clear and practically-oriented tool, providing an initial identification of resource usage and distribution. It should be noted that the Ecological Footprint of a nation represents an average value of the whole country, and thus provides only a limited consideration of local urban features. Therefore, in addition to a national Ecological Footprint, it is necessary to systematically calculate the individual footprints of other regions, particularly those of larger urban areas.

9.1 Goal

The aims of this project are threefold: to calculate the Ecological Footprint of the City of Vienna; to evaluate this value in terms of its sustainability; and finally, to compare this value with those of other large cities and with that of the whole of Austria.

In addition, a theoretical contribution is made to the further development of the method, concentrating on the energy accounting and the incorporation of voluminous resources and waste management into the footprint value.

9.2 Approach

According to Wackernagel [Wackernagel & Rees, 1996], the consumption of energy and goods is defined as

$$\text{Consumption} = \text{Production} + \text{Import} - \text{Export}$$

The value includes the yearly consumption of goods and energy as well its associated stocks without distinguishing between the two.

The total footprint area consists of two main parts, namely a land area component and an energy area component. The **land area component** corresponds to the direct consumption of arable land, pasture, forest, sea area and built-up land employed for the production of cereals, fruit, vegetables and other food as well as for materials such as cotton, wool, tobacco, coffee, tea. The selection of the good categories is based on the original list given by [Wackernagel et al., 1997] which has been used in estimating footprints for nations, cities and urban regions. By applying the corresponding yield coefficients to each region, its consumption of agricultural goods is converted into a land area.

The **energy footprint component** accounts for the direct utilisation of fossil fuels, subdivided into liquid (petrol, diesel, heating oil), solid (coal) and gaseous forms (natural gas). Alternative energy sources such as hydropower are also taken into account. Further, the energy component includes the energy carriers employed in the production of electrical energy and the embodied energy of the consumed goods (also referred to as the energy “rucksacks” of these goods). The standard approach to representing energy consumption as an area is to convert the utilised energy into carbon dioxide units, and then using the absorption capacity of green biomass express it as an area equivalent.

Adding these two area components together gives the Ecological Footprint of the region in question. For ease of comparability, the Ecological Footprint is expressed as a per-capita-value.

9.3 Results

Following this approach, a first Ecological Footprint of the City of Vienna has been calculated. The results provide a value, which can be compared with those of other large cities, urban regions and also with that of Austria. The calculation using this approach also allowed the method to be tested for its applicability to Viennese case study. **This first value for the Ecological Footprint of Vienna amounts to 3.9 ha/cap.** Based on the ‘status quo’ methodological approach, the Ecological Footprint of the City of Vienna is in the same range as Kuopio’s. Only the Ecological Footprints of London and Santiago de Chile are by 25 % lower than Vienna’s value. The Ecological Footprint of The Hague is 1.3 times higher, where as the footprints for Malmö and Toronto are approximately 1.8 times higher.

The Ecological Footprint of Vienna and other cities are shown in Figure 9-1 giving a detailed breakdown of the various area categories. In a similar manner, Figure 9-2 shows Vienna’s footprint value against the defined World Sustainability Limit.

In general, the differences between Vienna and the other cities shown in Figure 9-1 are based on two key factors: the list of goods considered and their corresponding yield coefficients. **The Ecological Footprint of Vienna is generally dominated by three components, namely “Fossil Energy“, “Pastures“ and “Arable Land“.** Together these categories are responsible for 91 % of Vienna’s Ecological Footprint.

The energy consumption of Vienna is comparable with those of Malmö and Kuopio. In comparison, London consumes 30 % less energy area where as Santiago de Chile around 5 times less. The Hague consumes 70 % more energy area than Vienna, where as Toronto 60 % more.

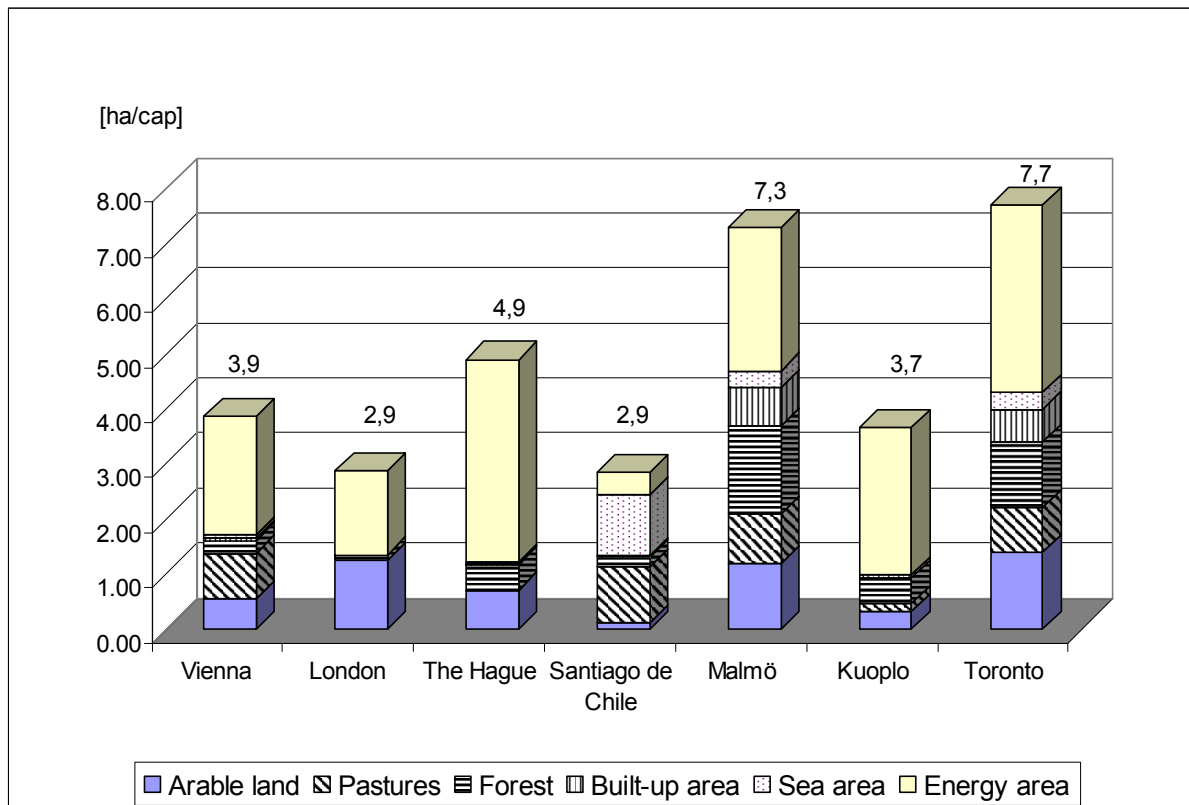


Figure 9-1: Ecological Footprint comparisons between Vienna (original method) and other reference regions

Source: London - [Girardet, 1996b], [Girardet, 1996a], The Hague – [Breumelhof, 1998], Santiago de Chile – [Wackernagel, eingereicht], Malmö – [Wackernagel et al., 1999a], Kuoplo – [Hakanen, 1999], Toronto – [Onisto et al., 1998]

The use of pastures in Vienna is similar to that of Toronto, Malmö and Santiago de Chile. The pasture component of Kuoplo’s Footprint is 80 % less than Vienna’s. Meat and milk products are largely responsible for the pastures component of Vienna’s Footprint.

In relation to the use of arable land, Vienna requires a similar area as The Hague, where as Malmö, London and Toronto require almost double this area. In the case of Vienna’s arable land use, two key influential factors include food consumption (which is largely cereals) and their yield coefficients.

In order to bring Vienna’s Ecological Footprint close to the sustainable value (average world limit) of 1.7 ha/cap, at least a 55 % reduction of its current value would be necessary. This requires a reduction of 2.1 ha/cap and would result in an equal reduction of all area categories by 55 %. The reduction primarily relates to the energy area, the pastures and the arable land rather than the “sea area“ and “built-up area“.

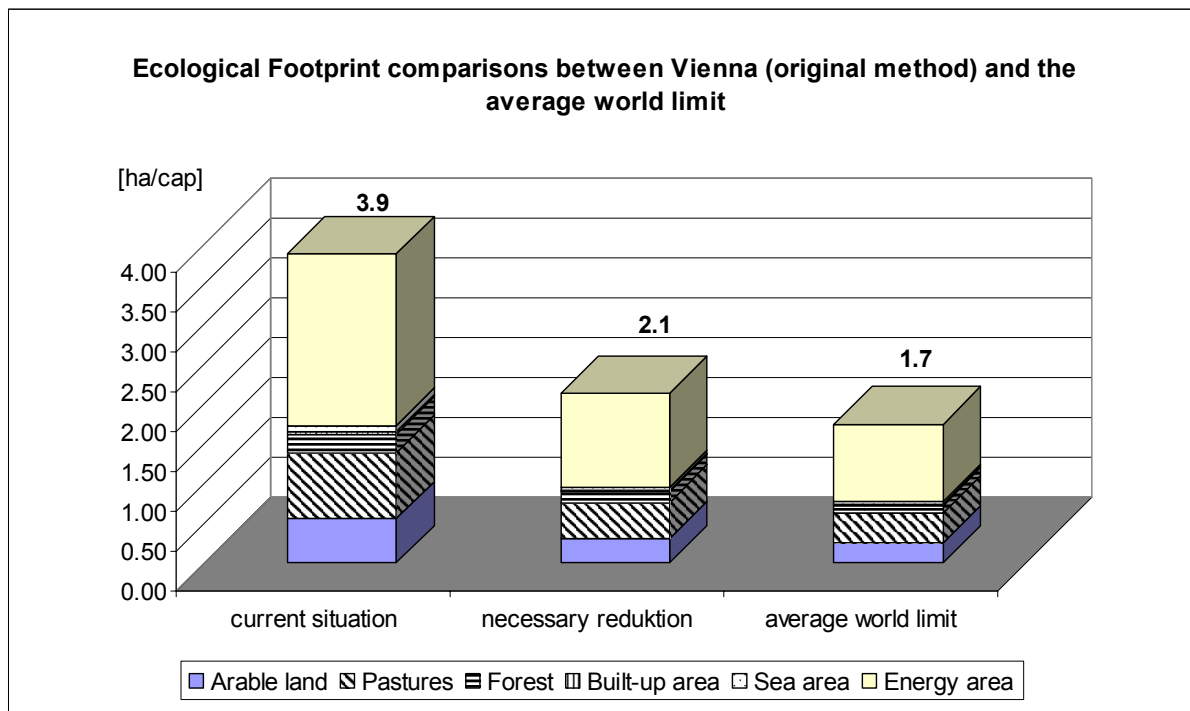


Figure 9-2: Ecological footprint comparisons between Vienna (original method), the average World sustainability Limit, and Vienna’s necessary reduction to achieve the world limit

Comparing the Ecological Footprint of Austria with that of Vienna reveals that its population, which represents 20 % of the Austrian total, consumes a land area that amounts to almost approximately 75 % of the national territory. A quantitative comparison among the single footprint components of Austria and Vienna is presented in the following table:

Component	Vienna [ha/cap]	Austria [ha/cap]	Vienna – Austria in %
Arable land	0.55	0.9	-38 %
Pastures	0.83	0.9	-8 %
Forest	0.23	0.5	-54 %
Built-up area	0.03	0.4	-92 %
Sea area	0.07	0.1	0 %
Energy area	2.15	1.4	+54 %
Total	3.9	4.1	-6 %

Table 9-1: The Ecological Footprint of Austria and Vienna with a breakdown of area categories

The city of Vienna consumes approximately 38 % less arable land than Austria. Consumption of pastures land in Vienna is by 8 % lower than the Austrian average. Forest consumption (direct use, energy use excluded) of Vienna is 54 % less than that Austrian as a whole.

Built-up area required by Vienna is an order of magnitude lower than that for the whole of Austria. As the data for the sea area consumption the same for both the Viennese and Aus-

trian [Wackernagel et al., 1997] footprints the values do not differ. The energy consumption of Vienna is 54 % higher than the Austrian average.

The size of the footprint value is dependent on the consumption of certain goods and their yield and absorption coefficients. Some key questions with regard to this relationship include: which area categories are crucial for the case of Vienna? How does the whole system react to a change of single parameters, and how important are single goods or their coefficients to the whole system? To explore these questions on a theoretical level a mathematical analysis has been performed. A practical investigation has also been undertaken in the form of a sensitivity analysis. This served to identify the effect that the particular goods and grouping of goods (including energy and embodied energy) and the corresponding yield and equivalence coefficients can and do have on the total footprint value.

Based on the mathematical investigation and the sensitivity analysis, the following conclusions can be drawn:

The system is the most sensitive towards changes in absorption and equivalency coefficients. In other words both, coefficient types are critical to the footprint value. Energy is also an important parameter which, although not as sensitive as coefficients, appears to be a good which is highly effective in reducing or enlarging the footprint value. In total, the system reacts towards changes of the direct area consumption similarly as to changes of the energy value. Since the direct area consumption is a sum of all goods consumed, its sensitivity to changes is relatively low.

The footprint value appears to be a result of a coincidental overlap of several independent parameters. It is not possible to predict which area category is most influential on the total footprint value, since consumed goods alone only have secondary influence (as described above). For each particular footprint study (of a city, region or a land), the specific yield, absorption and equivalency coefficients should be estimated: a transfer of foreign or incompatible data may lead to false results. It is also recommended to investigate these coefficients also as a function of the time. This will ensure that the quality of specific data (coefficients) is maintained over time.

The important weakness of the original method including its current application and findings are as follows:

1. Data coverage of considered goods

Since the original method uses a standardised list of goods in the calculation of direct area it is possible to compare different regions. However, this makes it difficult to consider the specific consumption of a particular object under investigation. In addition for many of the goods in question practically no specific data exists for the City of Vienna. Some of the categories of goods are rarely consumed in Vienna (e.g. jute) whilst the data for many imported and exported goods is only registered on a federal level. Furthermore, since 1995, production data has only been recorded to monetary values rather than quantities such as mass or volumes. Due to the necessary conversion between monetary and quantity values large errors are likely to occur.

Therefore, in the second part of this study, a list of goods more consistent with existing statistical data was used. Whilst the amended list allowed for a more accurate reflection of the actual consumption of goods in Vienna, it maintained as far as possible a category inventory similar to that used in the original method.

2. The use of national average yield coefficients on a city

Using a city as a case study presents another challenge to the original method when converting the agricultural goods into an area. As most of the yield coefficients are based on a nation wide average, the coefficients specific for the city area can only be estimated after a considerable data collection. Thus for future studies in Vienna, we recommend not only determining regional specific agricultural yield coefficients but also yield coefficients specific to urban regions.

3. Consideration of voluminous resources

Theoretically, all resources consumed should be considered. However, the original method does not take into account voluminous resources, such as gravel (for the construction industry) and petroleum (for plastics and chemicals production). The volume consumed by landfills is also not included in the Ecological Footprint. Considering the mere area occupied by open-cut mines and landfills would only formally correspond to the idea of the Ecological Footprint, but not to the actual resource consumption. Here, the original method reaches its limits and therefore requires further development.

This problem is solved in this study by **introducing a volumetric parameter** of the Ecological Footprint, namely the **depth of the Ecological Footprint**. **The depth of the Ecological Footprint is calculated by dividing the volume from voluminous resource extraction and landfilled waste by the footprint area. Its per-capita dimension is [m/ ha_{EF}.cap]**. This approach considers the annual volume rate of a given year, but as yet does not take into account the stocks existing voluminous materials.

4. Consideration of the waste management

In the original method, it is postulated that the entire life cycle of goods should be taken into account. This implies that the last stage of a product, namely waste, should be considered. However, the current method considers the waste component of a product only in terms of its greenhouse emissions and any transport and energy associated with the transport and treatment of waste. Issues such as emissions and their behaviour and additional resource consumption (e.g. landfill volume for non-treated wastes, incineration slag and sewerage sludge) are not considered. Further since the authors of the original method assume that climatic conditions are stable, no consideration is given to the climate change potential of particular emissions.

This study provides a first attempt to develop for a more complete account of waste management in the ecological footprint. Solid wastes are considered by using the parameters of landfill volume and carbon emissions – based on the relevant treatment technologies specific for Vienna (primarily landfilling and incineration). The landfill volume takes into account the voluminous resources. The carbon emissions originating from the waste treatment are divided into climate-neutral and climate-relevant components. Climate-neutral emissions from waste, wastewater treatment and private households are expressed as forest area. Climate-relevant carbon emissions originating from landfills and incineration are considered together with the carbon emissions from the transport sector (combustion of diesel and petrol). The climate-relevant emissions are **introduced as an additional (climate) feature of the Ecological Footprint**, namely as a contribution to the global warming potential (GWP). Based on this new approach the most important components of the waste management have found their part in the ecological footprint of the City of Vienna. What remains to be considered are the diffusive urban emissions as well as heavy metal contamination in soil. Currently, both these issues are under development as a methodological tool [Lampert, 1999].

5. Energy accounting

The original method recommends three possibilities for energy accounting: 1. Conversion of energy into carbon dioxide units and their absolute absorption through green biomass, 2. Conversion of energy into alternative energy source (e.g. methanol), and 3. Conversion of energy into original eco-systems which today serve as sources of fossil fuel. The first option is used worldwide and for the sake of comparability, this method has also been adopted for the first value of the Ecological Footprint of Vienna. However, this approach proves to have **a distinct disadvantage, in that it assumes that energy can be exclusively equated to carbon dioxide.**

Therefore, this study presents an alternative solution where consumed energy is converted to a photovoltaic area. Thus, **energy is considered as a separate resource type, and therefore can be presented as energy units** as in the original method. Furthermore, this approach is consistent with the concept of the original method, namely to convert all resources consumed into an area. Last but not least, this alternative reflects the current trend in Austria to utilise environmentally compatible and resource-saving energy sources.

6. Embodied energy concept

Accounting for the energy rucksacks of the consumed goods represents a controversial methodological question. Either should all stocks be considered as part of building stocks, landfill stocks etc., or they should be included as part of the energy rucksacks of goods. Further, as shown above, in certain cases considering of the energy rucksacks might result in distorted values. An additional investigation in this study reveals that by excluding the embodied energy from the Ecological Footprints, the footprint values of comparable cities increase by up to 13 %. Formally, this would mean that the more goods (and thus energy) a region exports, the more sustainable it is. Such a result is somewhat questionable.

Based on this, the calculation of the second footprint of the City of Vienna excluded embodied energy. Further, the lack of statistical data on imported and exported goods made it practically impossible to calculate the true net imported energy. After a thorough consideration of the entire energy consumption of Vienna, including industry and agriculture sectors, an assumption was made that any import of embodied energy is more or less balanced by a corresponding export.

A comparison between the original and the modified method for calculating the footprint of Vienna is presented in the Table 9-2.

The modified footprint of Vienna consists of the following components: an area component corresponding to the original method, which includes also the energy consumption; a volumetric component (footprint depth); and a climatic component (contribution to GWP). The volumetric and the climatic components represent an enlargement of the original method and enable the estimation of a differentiated footprint.

Component	Original method	Area type	Modified method	Area type
forestry and agricultural goods	area value	arable land, pasture, forest, sea, built-up area	modified goods list, area value	arable land, pasture, forest, sea, built-up area
energy	CO ₂ -units, embodied energy	energy area: CO ₂ , absorbed by biomass	energy units (solar energy)	energy area: equivalent photovoltaic area
waste management: solid waste	fossil fuel (CO ₂)	energy area: CO ₂ , absorbed by biomass	footprint depth, fossil fuel (CO ₂)	earth volume (landfill volume), GWP, forest
wastewater, private household: climate-neutral CO ₂ -emissions, wastewater sludge	-	-	area value, footprint depth	forest, earth volume
waste gas: climate-relevant CO ₂ , CH ₄ -emissions, climate-neutral CO ₂ -emissions	-	-	climate factor, area value	contribution to GWP, forest
voluminous resources	-	-	footprint depth (construction material, oil)	volume of resource

Table 9-2: Comparison between the original and the modified method. Categories considered and approach taken

The Ecological Footprint of the City of Vienna, calculated using the original method, amounts to no less than 3.9 ha/cap, where as the footprint calculated using the modified method amounts to no less than 3.1 ha/cap.

The value based on the original method exceeds the modified footprint by approximately 20 %. For three of the six land categories (pastures, built-up area and sea area) there is little difference in values between the modified and the original footprint values. The values from the modified method for the arable land appears three times higher than the original method and for the forest area around two times higher. The difference is largely due to the modified list of goods used to calculate the modified footprint. There are further differences relating to the energy area values. These, however, are no longer comparable, because the modified method considers the carbon dioxide emissions from the production of energy as a contribution to the GWP. Also “hidden” from comparison are the city’s requirements for voluminous resources as well as its waste management situation. In both methodological cases, Vienna uses minimal built-up area and sea area (≤1 % of the per-capita value).

The most important land consumption categories for Vienna in addition to the energy area, is the consumption of pastures and arable land.

A comparison between the original and modified values is shown in Table 9-3. As it is not possible to register the consumption of every good in a region, in all cases – Vienna and the reference cities – the footprints represent minimum values.

Category	EF Original [ha/cap]	EF Modified [ha/cap]
Fossil energy	2.15	0.03
Built-up area	0.03	0.03
Arable land	0.55	1.70
Pastures	0.83	0.86
Forest	0.23	0.45
Sea	0.07	0.01
Per-capita area [ha/cap]	3.9	3.1
Total EF area [ha]	6,236,447	4,980,476
		Footprint depth [m/ha_{EF.a}]
Landfill volume		0.00001
Resource volume (construction material, oil)		0.00027
Total footprint depth		0.00028
		[t CO₂/cap.a]
Waste management		2.14
Transport sector		1.47
Contribution to GWP		3.61

Table 9-3: The Ecological Footprint of the City of Vienna using the original (EF Original) and after the modified (EF Modified) method

The recommended World Sustainability Limit value serves as a criterion for the evaluation footprint values [Wackernagel & Rees, 1996]. This represents the maximum possible per-capita area which allows sustainable development but which also secures biodiversity. The **World Sustainability Limit Footprint** is given as **1.7 ha/cap**, which is based on the productive area available worldwide for human use on a purely geographical basis, with an additional 12 % to safeguard biodiversity. A comparison between World Sustainability Limit value and the existing footprint value for Vienna is only possible for the categories: arable land, pastures, forest, built-up area and sea area, but not for the energy area and the total value.

The modified existing footprint value of Vienna exceeds the world limit by 45 %. The necessary reduction if equally distributed over all area components would amount to 1.4 ha/cap. A targeted and weighed area reduction would be most effective for arable land consumption followed by pasture use. However, in order to develop concrete reduction measures, the Ecological Footprint method should be based on a thorough investigation of the urban metabolism of the region. This would allow a systematic consideration of the important fluxes of goods in Vienna. Furthermore, it is not possible to draw conclusions on the contribution of Vienna to the GWP nor is it possible to determine Vienna's footprint depth since no limits, reference values or evaluation criteria exist.

A comparison between Vienna's modified footprint value with the footprint values of other cities is not possible. Therefore, five out of the six area categories are compared and as previously discussed, even these have limited comparability.

The level of arable land consumption in Vienna is the largest of all the reference regions. Its arable land area value is approximately 20-30 % higher than the arable land consumed in Toronto, London and Malmö. The pasture land consumption of Vienna is similar to those of Malmö and Toronto. The forest consumption of Vienna is close to the values of Kuopio and The Hague. The total land area required for Malmö and Toronto is nearly 3 times that of Vi-

enna's. The build-up and sea areas for Vienna based on the modified method are closest to those of The Hague, London and Kuoplo.

Component	Vienna	London	The Hague	Santiago de Chile	Malmö	Kuoplo	Toronto
	[ha/cap]	[ha/cap]	[ha/cap]	[ha/cap]	[ha/cap]	[ha/cap]	[ha/cap]
Arable land	1.70	1.24	0.71	0.12	1.20	0.32	1.40
Pastures	0.86	k.A.	k.A.	1.01	0.90	0.15	0.80
Forest	0.45	0.11	0.47	0.19	1.60	0.47	1.20
Built-up area	0.03	k.A.	0.01	0.02	0.70	0.06	0.60
Sea area	0.01	k.A.	0.02	1.11	0.30	k.A.	0.30

Table 9-4: Modified footprint of Vienna and the reference regions (without energy area)

Due to the different methodological approach, a direct comparison of the energy areas cannot be performed. A comparison of four reference cities shows that without the embodied energy, the footprint values of Malmö, Toronto und Kuoplo would rise by around 6 - 13 % (exception: Santiago de Chile). Hence, the more a region or a city exports consumer goods – and thus embodied energy – the smaller its Ecological Footprint becomes, which implies it becomes theoretically more sustainable. The consequence of this finding suggests that the concept of embodied energy must be revised.

In order to compare Vienna's modified Ecological Footprint value with Austria's value, it would also need to be calculated using the modified method.

9.4 Conclusions and action recommendations of the Authors

The key conclusions and recommendations from this study are summarised, as follows:

1. With regards to the Ecological Footprint, City of Vienna is comparable with typical European and American cities, with a value lower than the average of the six reference cities and a value lower than that of Austria. The Ecological Footprint of Vienna, however, exceeds the defined World Sustainability Limit and thus measures should be taken to ensure its reduction. Despite the fact that the Ecological Footprint is a very practical and clear sustainability indicator, it does not suffice as planning instrument for developing optimal and environmentally compatible resource management strategies.
2. The estimation of the Ecological Footprint of a city, as was the case of Vienna, is highly dependent on the availability and quality of complete data sets, which detail the specific consumption of the region (city).
3. The original method for footprint calculation has proved in its current state of development to be inadequate, at least in the case of Vienna where incomplete and dubious values resulted. The critical methodological problems relate to: the calculation and conversion of the energy area; the energy rucksacks of the net imported goods; and the lack of consideration of both voluminous resources and key environmental impacts of waste management. The methodological contributions delivered by this study, represent the first step towards further developing Ecological Footprint method. Further developments require the establishment of a unified approach and a convention for resource accounting.
4. It is recommended that the City of Vienna participate in the programme "Towards a Local Sustainability Profile - European Common Indicators".

5. It is recommended that the City of Vienna identify the most suitable sustainability indicators for its needs, amongst the many available. If the Ecological Footprint should be one of them, then the method should be developed into a tool which standardises both data collection and comparability.
6. To address data inadequacies, it is recommended that the City of Vienna work with statistical authorities to ensure that consumption data is collected on a provincial level.
7. All goods consumed in Vienna have an ecological rucksack. The City of Vienna, as an important consumer, should take these rucksacks into account when preparing its trade strategy. For example, through the “ÖkoKauf Projekt” (“Eco Trade Project”).
8. The Ecological Footprint is a clear and understandable indicator for sustainable development. Thus, it should be introduced into activities with schools and the general public, as well as into Local Agenda 21 processes.

10 Literaturverzeichnis

- Ahbe, S.; Braunschweig, A.; Müller-Wenk, R., Hrsg. (1990) Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung: ein Bericht der Arbeitsgruppe Öko-Bilanz. Schriftenreihe Umwelt. Nr. 113. Bern. Schweiz.
- Ayres, R. U. (1994) Information, entropy, and progress: a new evolutionary paradigm. New York. AIP Press.
- Baccini, P.; Brunner, P. H. (1991) Metabolism of the anthroposphere. Berlin New York. Springer-Verlag.
- Baccini, P.; Daxbeck, H.; Glenck, E.; Henseler, G. (1993) METAPOLIS. Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt. Nationales Forschungsprogramm 25 "Stadt und Verkehr. Zürich. ETH-Zürich. Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG). Abt. Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt. 8600 Dübendorf. Schweiz.
- Baumeler, A.; Brunner, P. H.; Fehring, R.; Kisliakova, A.; Schachermayer, E. (1998) Reduktion von Treibhausgasen durch Optimierung der Abfallwirtschaft. Projekt Methan. Energieforschungsgemeinschaft. Schriftenreihe der Energieforschungsgesellschaft im Verband der E-Werke Österreichs. Wien. Verband der Elektrizitätswerke Österreichs (VEÖ).
- Breumelhof, T. (1998) Hague Environmental Thermometer 1998. The Hague City Council. City Management Division. Environmental Department. The Hague.
- Brunner, P. H. (1999) Persönliche Mitteilung. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abt. Abfallwirtschaft. Wien.
- Daxbeck, H.; Lampert, C.; Morf, L.; Obernosterer, R.; Rechberger, H.; Reiner, I.; Brunner, P. H. (1996) Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien. Projekt Pilot. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.
- Fehring, R.; Brunner, P. H. (1996) Kunststoffflüsse und Möglichkeiten der Kunststoffverwertung in Österreich. Monographie. Wien. Umweltbundesamt Wien.
- Fischer, T. (1999) Zur Untersuchung verschiedener methodischer Ansätze zur Bestimmung entnommener mineralischer Rohstoffmengen am Beispiel des Aufbaus von Wien. Diplomarbeit. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abt. Abfallwirtschaft. Wien.
- Frischknecht, R. (1995) Modellansatz und Algorithmus zur Berechnung von Ökobilanzen im Rahmen der Datenbank ECOINVENT. In: Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Hrsg. von M. Schmidt und Schorb, A. Berlin. Springer-Verlag.
- Girardet, H. (1996a) Creating a Sustainable London: London's Metabolism. Reducing London's Ecological Footprint. www.greenchannel.com.

-
- Girardet, H. (1996b) Creating a Sustainable London: London's Metabolism. The Metabolism of Greater London. www.greenchannel.com/slt/substant.htm.
- Girardet, H. (1999) Persönliche Mitteilung. London.
- Hakanen, M. (1999) Some Finish Ecological Footprints at the Local Level. Association of Finish Local and Regional Authorities. Helsinki.
- Hangler, J. (1999) Persönliche Mitteilung. Bzgl. Holz. BMLFUW, Sektion V Forstwesen. Wien.
- Heijungs, R.; Guinée, J. B.; Huppes, G.; Lankreijer, R. M.; Udo de Haes, H.; Wegener Sleeswijk, A.; Ansems, A. M. M.; Eggels, P. G.; van Duin, A. M. M.; de Goede, H. P. (1992) Environmental Life Cycle Assessment of Products. Backgrounds - October 1992. Leiden. Centre of Environmental Science.
- Juffermans, J. (1999) Persönliche Mitteilung. De Kleine Aarde. Boxtel.
- Krause, E. (1999) Persönliche Mitteilung. Email. City of Toronto. Toronto. Kanada.
- Krotscheck, C. (1995) Prozessbewertung in der nachhaltigen Wirtschaft. Dissertation. Technische Universität Graz. Institut für Verfahrenstechnik. Graz.
- Lampert, C. (1999) Persönliche Mitteilung. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abt. Abfallwirtschaft. Wien.
- MA48 (1998) Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept. Bericht Nr. Band XXII. MA48 Magistrat der Stadt Wien: Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark. Wien.
- MA66 (1998) Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien 1997. MA66 Magistrat der Stadt Wien: Statistisches Amt. Wien.
- Obernosterer, R. (in Bearbeitung) Methodische Ansätze zur Bewertung diffuser Emissionen aus urbanen Metallagern. Dissertation. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abt. Abfallwirtschaft. Wien.
- Onisto, L. J.; Krause, E.; Wackernagel, M. (1998) How Big is Toronto's Ecological Footprint? Using the Concept of Appropriated Carrying Capacity for Measuring Sustainability. Centre for Sustainable Studies and the City of Toronto. Toronto. Kanada.
- ÖSTAT (1986) Konsumerhebung 1984. Hauptergebnisse. Beiträge zur Österreichischen Statistik 812. Heft
- ÖSTAT (1997) Statistisches Jahrbuch für die Republik Österreich 1996. Österreichisches Statistisches Zentralamt. 47. Jahrgang. Wien. Kommissionsverlag. Verlag Österreich.
- ÖSTAT (1998) Statistisches Jahrbuch für die Republik Österreich 1997. Österreichisches Statistisches Zentralamt. 48. Jahrgang. Wien. Kommissionsverlag. Verlag Österreich.
- Rakos, C. (1999) Persönliche Mitteilung. Energieverwertungsagentur (E.V.A.). Wien.

- Rees, W.; Wackernagel, M. (1994) Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy. In: Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability. Hrsg. von A. M. Jansson; Hammer, M.; Folke, C. und Costanza, R. Washington. D.C Island Press. S. 362-390.
- Rohatsch, A. (1999) Persönliche Mitteilung. Technische Universität Wien. Institut für Ingenieurgeologie und Geomechanik. Abt. Ingenieurgeologie. Wien.
- Schäfer, H. (1993) Zur Definition des kumulierten Energieaufwandes (KEA) und seiner primärenergetischen Bewertung. In: Kumulierte Energie- und Stoffbilanzen ihre Bedeutung für Ökobilanzen. Hrsg. von VDI-Gesellschaft Energietechnik. Düsseldorf. VDI-Verlag. VDI-Berichte. 1093. S. 15-22.
- Schmidt-Bleek, F. (1994) MIPS - A Universal Ecologic Measure. Fresenius Environmental Bulletin (No. 8). S. 407-412.
- Schott, R.; Taibinger, P. (1995) Branchenabfallwirtschaftskonzept Zellstoff- und Papierindustrie. S. I. Bundesministerium für Umwelt. Branchenkonzepte. Wien. Österreichische Vereinigung der Zellstoff- und Papierchemiker und - techniker (ÖZEPA).
- v. Schulthess, R. (1994) Die Emission von Lachgas (N₂O) in denitrifizierenden Belebungsanlagen. Dissertation. ETH Zürich. Zürich.
- Wackernagel, M. (1994) Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: A Tool for Planing Towards Sustainability. Dissertation. University of British Columbia. School of Community & Regional Planing. Vancouver. Kanada.
- Wackernagel, M. (eingereicht) The Ecological Footprint of Santiago de Chile. Local Environment.
- Wackernagel, M.; Lewan, L.; Borgström-Hansson, C. (1999a) Evaluating the Use of Natural Capital with the Ecological Footprint: Applications in Sweden and Subregions. *Ambio* Vol. 28 (No. 7). S. 604-612.
- Wackernagel, M.; Onisto, L.; Bello, P.; Callejas Linares, A.; López Falfán, I. S.; Garcia, J. M.; Suárez Guerrero, A. I.; Suárez Guerrero, M. G. (1999b) National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept. *Ecological Economics* June 1999. Vol. 29 (No. 3).
- Wackernagel, M.; Onisto, L.; Callejas Linares, A.; López Falfán, I. S.; Garcia, J. M.; Suárez Guerrero, A. I.; Suárez Guerrero, M. G. (1997) Ecological Footprint of Nations. How much nature do they use? - How much nature do they have? Universidad Anáhuac de Xalapa. Centro de Estudios para la Sustentabilidad. Xalapa. Mexico.
- Wackernagel, M.; Rees, W. (1996) Our Ecological Footprint. Reduction Human Impact on the Earth. The New Catalyst Bioregional Series. Gabriola Island. Kanada. New Society Publishers.

11 Anhang

						Bevölkerung von Wien 1997 1.609.631		Bezugs- größe
KATEGORIEN	Ertrag [kg/ha]	Produktion [t]	Import [t]	Output [t]	Export [t]	Konsum [t]	Fußabdruck- komponente [ha/cap]	Landtypus
NAHRUNGSMITTEL								
Globale Durchschnittswerte								
Fleisch (Ertrag für Tierproduktion aus Weidenhaltung in Durchschnittseinheiten)								
Fleisch (frisch)	74	10.904	90.018	42.484	26.765	74.157	0,622577238	Weiden W
Rot-, Ziegen-, Lamm- und Rinderfleisch	33							Weiden
übriges Fleisch	817							Ackerland
Milchprodukte (als Milchäquivalente)						615.553	0,761361942	Weiden A
Milch	502			144.511	91.042	53.469		
Käse	50			4.427	2.789	1.638		
Butter	50			834	525	309		
Meeresfisch	29					10	0,329777196	Meer A
Getreide (Summe)	4.900					584.075	0,074053577	Ackerland A
Weizen		9.583	45.929					
Gerste (nicht gemahlen)		5.553	31.477					
Verarbeitetes Getreide (nur Mehl!)				49.668				
Tierfutter	4.900	9.972		3.538	3.538	6.434	0,000815753	Ackerland W
Obst und Gemüse (Summe)	18.000	93.890	12.539			106.429	0,00367334	Ackerland W
Gemüse		59.904	8.610			68.514		
Früchte (frisch) [Obst]		33.986	3.929			37.915		
Wurzeln und Knollen	12.607	30.254				183.070	0,009021489	Ackerland A
Hülsenfrüchte	852					24.223	0,0176629	Ackerland A
Kaffee und Tee	566					38.799	0,042587071	Ackerland A
Kakao	454		4.999			4.999	0,006840706	Ackerland W
Zucker	4.893		45.929			45.929	0,005832121	Ackerland W
Ölsamen (inkl. Soja)	1.856	104				67.831	0,022705211	Ackerland A
HOLZ [als Rundholzäquivalente]	1.99	0	653.945			653.945	0,204155846	Wald W
Rundholz [m3/ha.m3]	Rundholzäquivalente:	0	2.045			2.045		W
Brennholz [m3]	0,53	0	0			0		W
Konsum direkt von Rundholz [m3]	1					0		W
Sägeholz [m3]	1,80	0	27.320			27.320		W
Holzpaneele [m3]	2,70	0	24.045			24.045		W
Holzpulpe [t]	1,98	0	0			0		W
Papier und Karton [t]	1,50	0	358.535			358.535		W
ANDERE GÜTER								
Tabak	1.548					3.224	0,001293771	Ackerland W
Baumwolle	1.000					6.646	0,00412885	Ackerland A
Jute	1.500					200	0,0000828116	Ackerland A
Kautschuk	1.000					4.404	0,002735913	Ackerland A
Wolle	15					2.031	0,084113866	Weiden A
Fell/Pelz	33					3.476	0,06576793	Weiden A

Tabelle A1: Flächenbestimmung des materiellen Ressourcenverbrauchs

Spezifischer Energiefußabdruck	Umrechnungs- /Absorptions- koeffizient [-]	Spezifischer Energieverbrauch [GJ/E.a]	Fußabdruck- komponente [ha/E]	Erläuterung
[GJ/ha.a] Kohle	55	12,5	0,227	Fläche für fossile Energie: Kohle
[GJ/ha.a] flüssige Brennstoffe	71	37,7	0,531	Fläche für fossile Energie: flüssige Brennstoffe
[GJ/ha.a] Erdgas	93	46,1	0,496	Fläche für fossile Energie: Erdgas
[GJ/ha.a] Nuklearenergie	71	9	0,128	Fläche für fossile Energie: Nuklear-energie
[GJ/ha.a] angenommen als fossile Energie / inkorporierte Energie in den importierten Gütern	71	35,5	0,500	Fläche für fossile Energie, inkorporiert in Nettoimportgütern
[GJ/ha.a] hydroel. Energie	1.000	7,6	0,008	Bebaute Fläche für Wasserenergie
[GJ/ha.a] Energie, basiert auf Holzfasern und sonstigen Bioenergieträgern	k.A.	k.A.	k.A.	Waldfläche

Tabelle A2: Flächenbestimmung des Energieverbrauchs: Aufteilung nach Energietypen

Energiebilanz: Umrechnungsfaktoren		Statistisches Jahrbuch Wien 1997: Import-/Exportmengen in [ATS]				
Kategorien	Energy intensity (Gj/t) embodied energy	Import [1000 \$]	Import [t]	1000 ATS/t Faktor 11 1000 ATS/t	Import 1996 [1000 ATS]	Datenquellen
Getränke	10	187.061				
alkoholische Getränke						
Rohmaterialien		1.875.103				
bearbeitetes Holz	5	239.079	550.631	4,8	1.237.200	1:5-3+4+5+6
Pulpe und Altpapier	5	244.612	953.359	2,8	berücksichtigt	in z69
Mineralien	1,5	202.213	1.027.063	2,2	30.769.300	1:2-1+2
Metallerze	1,5	327.333	9.589.116	0,4	97.000	1:2-3
Eisen und Stahl					k.A.	
Brennstoffe und Mineralien	(This category is already included in the fossil energy consumption above)					
Rohbenzin						
Erdölprodukte						
Chemikalien		4.843.685				
organische Chemikalien	40	492.720	1.126.466	4,8	7.518.500	1: 3-3+4+6+7
organische-anorganische Chemikalien	40					
Färbstoffe	20	424.803	202.058	23,1		
Pigmente, Farben	20	334.147	158.937	23,1	1.787.100	1: 3-5
Pharmazeutische Produkte	20	1.228.777	21.073	641,4	11.555.600	1: 3-1
Kunststoffe	50	1.235.926	761.575	17,9	10.355.700	1: 3-2+8
Gummiwaren	35	599.199	128.769	51,2	4.746.200	1: 4-0 inkl. Leder!!
Papier und Pappe	35	1.032.801	1.097.146	10,4	8.671.100	1:5-1+2
Textilien	20	1.709.676	288.685	65,1	571.900	1: 6-1+5
Eisen und Stahl	30	1.191.092	2.451.440	5,3	1.942.600	1: 8-1
Metallerzeugnisse	60	1.877.984	691.073	29,9	8.376.500	1: 8-2bis8
Industrieprodukte	in "Metallerzeugnisse" enthalten					
Krafterzeugung	in "Metallerzeugnisse" enthalten					
Interne Verbrennung	140					
El. Drehanlagen	100					
Spezielle industr. Ausrüstung	100					uno 96 (siehe links
Traktoren						
Ausrüstung für Bauwesen						
Textilien und Leder						
Papier- und Mahlausrüstung						
andere Ausrüstung für spez. Industrie						
Metallverarbeitungs-ausrüstung	100					uno 96 (siehe links
Allgem. Industrie	100					uno 96 (siehe links
Kühlung und Heizung	100					
Flüssigkeitspumpen	100					
Pumpenzubehör und Zentrifugen	100					
Nichtelektrische Maschinen	100					
Nichtelektrischer Zubehör	100					
Büromaschinen	140					uno 96 (siehe links
Autom. Datenverarbeitung	140					
Bürozubehör	140					
Telekomm und Schall	140					uno 96 (siehe links
El. Ausrüstung	100					uno 96 (siehe links
Strassenfahrzeuge	140					uno 96 (siehe links
Div. Gewerbeprodukte						
Kleidung und Accessoires	20	2.525.770	54.959	505,5	10.529.900	1: 6-2+3+4+6+7+8
Präzisionsinstrumente	100					uno 96 (siehe links
Div. Gewerbeerzeugnisse	100					uno 96 (siehe links
Nicht erfasste Güter	0					uno 96 (siehe links
Spezielle Transaktionen	5					uno 96 (siehe links
Gold und Schmuck	150					uno 96 (siehe links

Tabelle A3a: Flächenbestimmung des Energieverbrauchs: in den Gütern inkorporierte Energie (Importe)

Energiebilanz: Umrechnungsfaktoren 1997: Import-/Exportmengen in [ATS]

Kategorien	Energy intensity [Gj/t] embodied energy	Datenquellen	Import 1996 [t]	Export 1996 [t]	Inkorporierte Energie im Nettoimport [PJ]	Zusätzliche Flächen- komponente [ha/E]	Landtypus	Bezugs- grösse
Getränke	10							
alkoholische Getränke								
Rohmaterialien								
bearbeitetes Holz	5	1:5-3+4+5+6	259.040	174.567	0,42			W
Pulpe und Altpapier	5	in z69						
Mineralien	1,5	1:2-1+2	14.207.352	1.895.388	18,47			W
Metallerze	1,5	1:2-3	258.326	9	0,39			W
Eisen und Stahl			k.A.	k.A.				
Brennstoffe und Mineralien	(This category is already included in the fossil energy consumption above)							
Rohbenzin								
Erdölprodukte								
Chemikalien								
organische Chemikalien	40	1: 3-3+4+6+7	161.245	174.611	-0,53			W
organische-anorganische Chemikalien	40							
Färbstoffe	20							
Pigmente, Farben	20	1: 3-5	77.276	115.330	-0,76			W
Pharmazeutische Produkte	20	1: 3-1	18.016	3.690	0,29			W
Kunststoffe	50	1: 3-2+8	580.106	410.766	8,47			W
Gummiwaren	35	1: 4-0 inkl. Leder!!	92.724	57.879	1,22			W
Papier und Pappe	35	1:5-1+2	837.393	707.276	4,55			W
Textilien	20	1: 6-1+5	8.779	11.839	-0,06	0,0010	Ackerland	W
Eisen und Stahl	30	1: 8-1	363.468	164.361	5,97			W
Metallerzeugnisse	60	1: 8-2bis8	280.222	95.989	11,05			W
Industrieprodukte	in "Metallerzeugnisse" enthalten							
Krafterzeugung	in "Metallerzeugnisse" enthalten							
Krafterzeugung			0	0				
Interne Verbrennung	140							
Ei. Drehanlagen	100				0			
Spezielle industr. Ausrüstung	100	uno 96 (siehe links	39.057	44.392	-0,53			A
Traktoren			0	0				
Ausrüstung für Bauwesen								
Textilien und Leder								
Papier- und Mahlausrüstung								
andere Ausrüstung für spez. Industrie								
Metallverarbeitungs-ausrüstung	100	uno 96 (siehe links	5.687	7.720	-0,20			A
Allgem. Industrie	100	uno 96 (siehe links	36.478	59.667	-2,32			A
Kühlung und Heizung	100							
Flüssigkeitspumpen	100							
Pumpenzubehör und Zentrifugen	100							
Nichtelektrische Maschinen	100							
Nichtelektrischer Zubehör	100							
Büromaschinen	140	uno 96 (siehe links	5.324	1.063	0,60			A
Autom. Datenverarbeitung	140							
Bürozubehör	140							
Telekomm und Schall	140	uno 96 (siehe links	9.043	11.058	-0,28			A
Ei. Ausrüstung	100	uno 96 (siehe links	53.570	47.975	0,56			A
Strassenfahrzeuge	140	uno 96 (siehe links	149.821	94.239	7,78			A
Div. Gewerbeprodukte								
Kleidung und Accessoires	20	1: 6-2+3+4+6+7+8	20.829	2.405	0,37	0,0057	Ackerland	W
Präzisionsinstrumente	100	uno 96 (siehe links	4.482	1.588	0,29			A
Div. Gewerbeerzeugnisse	100	uno 96 (siehe links	112.080	97.451	1,46			A
Nicht erfasste Güter	0	uno 96 (siehe links	0	591	0,00			A
Spezielle Transaktionen	5	uno 96 (siehe links	0	0	0,00			A
Gold und Schmuck	150	uno 96 (siehe links	0	0	0,00			A
Total					57,2			

Tabelle A3b: Flächenbestimmung des Energieverbrauchs: in den Gütern inkorporierte E-
nergie (Exporte)

Erzeugungs-komponenten	Strom-Mix Wien-Erzeugung ⁽¹⁾	Strom-Mix Inland ⁽¹⁾	Strom-Mix für Importe ⁽¹⁾	Strom-Mix Wien-Verbrauch	Wirkungsgrad
Quelle	[MA66, 1998]	[ÖSTAT, 1998]	[Frischknecht, 1995]	Berechnet	[Frischknecht, 1995]
Einheit	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Wasser	2,6%	64,9%	15,2%	27,1%	85% ⁽²⁾
Steinkohle		7,1%	18,3%	8,3%	36%
Braunkohle		2,6%	10,6%	4,3%	36%
Heizöl	20,8%	3,3%	9,6%	11,4%	37%
Erdgas	71,9%	17,2%	9,5%	33,6%	42%
Sonstige	4,7%	4,9%	0,6%	3,4%	40% ⁽³⁾
Kernkraft	0,0%	0,0%	36,2%	11,8%	31%
Summe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	-

Tabelle A3c: Elektrische Energie: Energieträger-Mix und Wirkungsgrade

(1) Die Anteile am Wiener Stromaufkommen sind 34,5 % Eigenerzeugung, 32,7 % Importe aus Inland, 32,7 % Importe aus Ausland [MA66, 1998]

(2) [Schäfer, 1993], S.21]

(3) Annahme

ZUSAMMENFASSUNG							
BENOTIGT				VERSORGUNG			
FUSSABDRUCK (pro Kopf)				EXISTIERENDE BIOKAPAZITÄT IN DER STADT			
Kategorie	total	Äquivalenz-faktor	Äquivalenz [ha/E]	Kategorie	Ertrags-faktor	Stadts-Fläche [ha/E]	ngleich. Ertr. äquiv. Fläche [ha/E]
FUSSABDRUCK (pro Kopf)	[ha/E]	[-]	total				
Fossile Energie	1,89	1,1	2,153	CO2-Absorptionsfläche		0,00	0,00
Bebaute Fläche	0,01	2,8	0,034	Bebaute Fläche	0,97	0,012	0,033
Ackerland	0,20	2,8	0,554	Ackerland	0,97	0,005	0,012
Weiden	1,53	0,5	0,830	Weiden	2,04	0,002	0,002
Wald	0,20	1,1	0,232	Wald	0,44	0,005	0,003
Meer	0,33	0,2	0,072	Meer	1,00	0,000	0,00
Total benutzt	4,2		3,87	Total vorhanden		0,024	0,050
Total für Wien [ha]			6.236.447	Total vorhanden (minus 12% für Biodiversität)			0,044

Tabelle A4: Ökologischer Fußabdruck: Aufsummierung der Flächenkomponenten

Energiebilanz: Umrechnungsfaktoren CATEGORIES units if not specified	EF-AUST, Wackernagel, Daten 1993				Statistisches Jahrbuch Wien 1997				
	Energy intensity] embodied energy	Import [1000 \$]	Import [t]	Preis1000\$/t 1000 ATS/t	"Preise" 1996 [1000 ATS] (Ausgaben für Import)	Import [t] 1996	Export [1000 \$]	Export [t]	Preis1000\$/t
Beverages	10	187.061					219.248		
..alcoholic beverages									
Crude materials		1.875.103							
..wood shaped		239.079	550.631	0,43419096	4,77610051	9908300	2.074.559	748.205	2.338.046
..pulp & waste paper	5	244.612	953.359	0,25657911	2,82237017	berücksichtigt oben		88.484	234.283
..mineral	1,5	202.213	1.027.063	0,19688462	2,1657308	30769300	14.207.352	168.622	856.451
..metal ores	1,5	327.333	9.589.116	0,03413589	0,37549478	97000	258.326	127.961	4.986
..iron and steel						k.A.		k.A.	k.A.
(Fuel &minerals) (..crude petroleum)		(This category is already included in the fossil energy consumption above)							
(..petroleum products refin.)		4.843.685						3.464.338	
Chemicals	40	492.720	1.126.466	0,43740351	4,81143857	8591400	1.785.620	487.584	174.404
..chem. organics									
..org-inorg compound	20	424.803	202.058	2,10238648	23,1262513	3729000	161.245	192.145	255.247
..dyes,tanning, colour		334.147	158.937	2,10238648	23,1262513			175.023	232.502
..pigments, paints	20	1.228.777	21.073	58,3109166	641,420083	1787100	77.276	890.345	5.485
..medicinal, pharm product	50	1.235.926	761.575	1,62285479	17,8514027	11555600	647.322	1.056.095	940.217
..plastic materials		9.191.578						11.889.302	
Basic manufactures	35	599.199	128.769	4,65328129	51,1860942	k.A.	k.A.	545.018	139.575
..rubber manufactures	35	1.032.801	1.097.146	0,9413526	10,3548786	4746200	458.354	2.299.985	2.902.745
..paper, paperboard	20	1.709.676	288.685	5,92228345	65,1451179	inkl. In "Holz"	inkl. In "Holz"	1.781.690	219.394
..textile	100	1.191.092	2.451.440	0,48587439	5,34461824	110101800	20.600.498	2.120.471	3.633.193
..iron and steel	60	1.877.984	691.073	2,71749033	29,8923936	1942600	64.986	2.086.883	708.656
..metal manufacture		18.290.641						15.666.686	
Indust. products		1.149.830	149.844	7,67350392	84,4085431	4916900	58.251	2.387.114	197.696
..power generating	140	753.420	82.873	9,09126012	100,003861			1.883.158	154.037
..intrl combustion	100	237.613	17.606	13,4961377	148,457514	berücksichtigt in Energieverbr		281.694	25.252
..rotating electric plant	100	1.645.468	160.002	10,2840203	113,124224	2760505	24.402	2.355.466	412.258
..machs for spcl industrys		162.897	26.626	6,1179674	67,2976414	34664000	515.085	165.540	25.538
..tractors non-road		211.747	32.777	6,46023126	71,0625439	27668700	389.357	303.359	40.986
..civil engneer equip		136.382	8.557	15,9380624	175,318686			184.625	15.288
..textile, leather		98.122	5.790	16,9468048	186,414853			184.157	10.973
..paper etc mill machinery		644.073	48.111	13,3872295	147,259525			1.139.705	80.117
..other machy. for spcl indus	100	451.099	25.828	17,4652454	192,117699	2004167	10.432	536.785	50.246
..metalworking machinery	100	2.873.850	204.761	14,0351262	154,386388	2154240	13.954	2.588.910	206.691
..genrl industrial		421.113	33.980	12,3929665	136,322631	43130142	316.383	398.952	38.421
..heating,cooling		271.771	13.121	20,7126743	227,839418	6202680	27.224	199.063	13.144
..pumps for liquids		384.150	32.695	11,749503	129,244533	1836428	14.209	352.985	43.451
..pumps nes,centrifuges		375.817	21.435	17,5328668	192,861535	5798815	30.067	213.992	14.978
..nonelec machy		981.289	72.201	13,5910721	149,501794	5698154	38.114	767.013	44.092
..nonelec mach pts,acc	140	1.683.677	19.800	85,0361312	935,397444	14477551	15.477	520.792	6.539
..office machines	140	916.864	12.251	74,8399314	823,239246	22321926	27.115	194.940	3.695
..automatic data proc		619.994	5.822	106,491584	1171,40742	1192196	1.018	297.414	2.487
..office accessories		1.294.842	80.824	16,0204376	176,224813	671141	3.808	1.406.157	46.084
..telecomm, sound	100	3.290.514	158.621	20,7445134	228,189647	1649602	7.229	2.909.392	552.100
..electric machinery	140	5.610.374	506.441	11,0780362	121,858398	50314429	412.893	2.558.312	250.935
..road vehicles		9.180.975						5.743.314	
Misc manufactured goods	20	2.525.770	54.959	45,9573325	505,530657	k.A.	k.A.	1.058.892	15.799
..clothing and accessories	100	914.672	17.373	52,6498581	579,148439	berücksichtigt in Textilien		573.723	7.457
..precision instrumnts	100	3.035.057	447.728	6,778803	74,566833	13482403	23.280	2.451.973	602.710
..misc manufactrd	20					43823802	587.712	180.958	
Goods not classd by kind	5					k.A.	k.A.		
..special transactions	150					k.A.	k.A.	143.316	2.458
..gold, jewelry						k.A.	k.A.		58.3059398

Tabelle A5: Umrechnung der importierten und exportierten Güter von monetären Angaben in Mengen

Bruttoenergieverbrauch (ohne elektrische Energie) (Stat.Jahrb.Wien 1997, S.171-173, Tab.9.01 und 9.02)

Energieträger	1996				1997			
	mit elektrischer Energie		ohne elektrische Energie		Für el. Energie	ohne elektrische Energie		Für el. Energie
	TJ	% von Summe	TJ	% von Summe		TJ	% von Summe	
Koks und Kohle	2,456	1,6	2,456	2,4		2,456	2,4	
Benzin	13,808	9,1	13,808	13,5		13,808	13,5	
Diesel	18,378	12,1	18,378	17,9		18,378	17,9	
Gasöl für Heizzwecke	10,171	6,7	10,171	9,9		10,171	9,9	
Heizöl	13,318	8,8	5,313	5,2	8,005	2,003	2,0	11,315
Naturgas	70,374	46,5	42,779	41,7	27,595	46,839	45,7	23,535
Flüssiggas	402	0,3	402	0,4		402	0,4	
Brennbare Abfälle	6,126	4,0	6,126	6,0		6,126	6,0	
Brennholz	709	0,5	709	0,7		709	0,7	
Fernwärme	2,398	1,6	2,398	2,3		2,398	2,3	
El. Energie	13,192	8,7						
Summe	151,332	100,0	102,539	100,0		102,539	100,0	

Annahmen:
 1. Energieträgereinsatz für importierte Energie ist im gleichen %-Verhältnis (k.A. sonst)
 2. Die Summe des Bruttoenergieverbrauchs ist für 1996 und 1997 gleich.
 3. Die Verteilung der restlichen Energieträger (d.h. mit Ausnahme von el. Energie) ist auch für 1997 dieselbe, da auch der el. Energieverbrauch gleichgeblieben ist.
 4. Die brennbaren Abfälle sind berücksichtigt worden, weil sie hier Energieträger sind

Tabelle A6: Bruttoenergieverbrauch der Stadt Wien, 1996 und 1997

Erzeugung und Totalverbrauch von elektrischer Energie - Energieträger

(Stat.Jahrh.Wien 1997, S.171-173, Tab.9.01 L)

	1996			1997		
	[GWh]	[TJ]	[% Erzeugung]	[GWh]	[TJ]	[% Erzeugung]
Erzeugung	5,221	18,794		5,127	18,458	
Wasserkraft	135	486	2.6	242	870	4.7
Heizöl	1,088	3,918	20.8	1,518	5,465	29.6
Naturgas	3,751	13,504	71.9	3,158	11,367	61.6
sonstige	246	886	4.7	210	755	4.1
Summe	5,221	18,794	100.0	5,127	18,458	100.0
Bruttoverbrauch	10,668	38,404		10,616	38,217	

Tabelle A7: Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie in Wien, aufgeschlüsselt nach Energieträgern

Verbrauch an elektrischer Energie 1997 (Stat. Jahrb. Wien, S.172-173, Tab.9.02a-c))

nach Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten

Stromerzeugung aus, in [GWh] und [% von Erzeugung]				Total
Wasserkraft	Wärme aus			[GWh]
	Heizöl	Naturgas	sonstigem	
241.8	1,518.1	3,157.5	209.8	5,127.2
4.7	29.6	61.6	4.1	
Stromimporte landesintern [GWh]				9,778.0
Stromexporte landintern [GWh]				4,289.5
Verbrauch [GWh]				10,615.7
				[% Gesamtverbrauch]
Haushalt				26.3
Gewerbe				14.0
Landwirtschaft				0.5
Industrie				24.2
Öff. Anlagen				21.1
Verkehr				5.7
Eigenbedarf				1.9
Verluste				6.2
Jährlicher Verbrauch el. Energie 1997 pro-Kopf				0.007
				[GWh/E]

Verbrauch an elektrischer Energie 1997 in [GJ]

nach Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten

Stromerzeugung aus, in [GJ]				Total
Wasserkraft	Wärme aus			[GJ]
	Heizöl	Naturgas	sonstigem	
870,480	5,465,160	11,367,000	755,280	18,457,920
Stromimporte landesintern [GJ]				35,200,800
Stromexporte landintern [GJ]				15,442,200
Verbrauch [GJ]				38,216,520
				[% Gesamtverbrauch]
Haushalt				26.3
Gewerbe				14.0
Landwirtschaft				0.5
Industrie				24.2
Öff. Anlagen				21.1
Verkehr				5.7
Eigenbedarf				1.9
Verluste				6.2
Jährlicher Verbrauch el. Energie 1997 pro-Kopf				23.7
				[GJ/E]

Tabelle A8: Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie in Wien, aufgeschlüsselt nach Verbrauchssektoren

Solarfluss zur Erdoberfläche	
[TJ/s]	[TJ/a]
175.000	5.518.800.000.000
½ Erdoberfläche	Solarfluss zur Erde
ha	[TJ/ha.a]
25.500.000.000	42,7
Solarkapazität von Wien	
[TJ/a]	[TJ/ha.a]
1.770.953	42,7

Tabelle A9: Umrechnungsfaktoren des Energiekonsums in Wien als Solarenergiefläche

Aufschlüsselung der Energie nach Gebrauchssektoren (Hauptverbraucher)

(Stat.Jahr.Wien, S.174-175, Tab.9.03e), f); Tab.9.04, 9.05)

Energieträger	Verbrauch [TJ]	[% Gesamtverbrauch]	wichtigste Verbrauchssektoren
Heizöl	11.315	8,0	El. Strom
	2.003	1,4	Fernwärme
	13.318	9,4	
Abfälle	6.126	4,3	Fernwärme
Benzin	13.808	9,8	Verkehr
Diesel	18.378	13,0	Verkehr
Gasöl	10.171	7,2	Heizung
Brennholz	709	0,5	Heizung PHH
Koks u. Kohle	2.456	1,7	Heizung PHH
Erdgas	23.535	16,6	El. Strom
(grösste Verbraucher)	3.743	2,6	Blockheizung (inkl. PHH's)
	18.744	13,2	Direktverbrauch (PHH, Gewerbe, Industrie)
	46.839	33,1	
<i>Ktrl Erdgas</i>	46.022	32,5	
Total Verbrauch	141.506	100,0	
<i>Ktrl Verbrauch</i>	111.805	79,0	
Differenz	29.701	21,0	
(Eigenbedarf und Verluste (zB Wiengas), kleinere Abnehmer)			

Wichtigste Verbrauchssektoren	[% Gesamtverbrauch]	Anteil Träger am Sektor
Haushalt, Industrie und Gewerbe	30,7	
Landwirtschaft	0,1	
Öff. Anlagen	5,7	
Verkehr	24,3	
Fernwärme	6	
Heizung direkt	12,1	
Eigenbedarf, Verluste, sonst.: >		
Summe	79	

Tabelle A10: Der Energieverbrauch in Wien im 1997, aufgeschlüsselt nach Energieträgern und Einsatzsektoren

LAND- UND WASSERFLÄCHENBUCHHALTUNG		Bevölkerung von Wien 1997 1.609.631
KATEGORIEN	Fussabdruckkomponente [ha/cap]	Landtypus
NAHRUNGSMITTEL		
Fleisch (Ertrag für Tierproduktion aus Weidenhaltung in Durchschnittseinheiten)		
Fleisch (frisch)	0,49806179	Weiden
Rot-, Ziegen-, Lamm- und Rinderfleisch		Weiden
übriges Fleisch		Ackerland
Milchprodukte (als Milchäquivalente)	0,609089553	Weiden
Milch		
Käse		
Butter		
Meeresfisch	0,263821757	Meer
Getreide (Summe)	0,059242862	Ackerland
Weizen		
Gerste (nicht gemahlen)		
Verarbeitetes Getreide (nur Mehl!)		
Tierfutter	0,000652602	Ackerland
Obst und Gemüse (Summe)	0,002938672	Ackerland
Gemüse		
Früchte (frisch) [Obst]		
Wurzeln und Knollen	0,007217191	Ackerland
Hülsenfrüchte	0,01413032	Ackerland
Kaffee und Tee	0,034069657	Ackerland
Kakao	0,005472565	Ackerland
Zucker	0,004665697	Ackerland
Ölsamen (inkl. Soja)	0,018164169	Ackerland
HOLZ [als Rundholzäquivalente]	0,163324676	Wald
Rundholz [m ³ /ha,m ³]		
Brennholz [m ³]		
Konsum direkt von Rundholz [m ³]		
Sägeholz [m ³]		
holzbasierete Panellen [m ³]		
Holzpulpe [t]		
Papier und Karton [t]		
ANDERE GÜTER		
Tabak	0,001035017	Ackerland
Baumwolle	0,00330308	Ackerland
Jute	6,62493E-05	Ackerland
Kautschuk	0,00218873	Ackerland
Wolle	0,067291093	Weiden
Fell/Pelz	0,052614344	Weiden

Tabelle A11: Reduktion der Flächenkomponente des Ökologischen Fußabdruckes von Wien um 20% (Sensitivitätsanalyse des nach der Originalmethodik bestimmten Fußabdruckwertes)

ZUSAMMENFASSUNG							
BENÖTIGT				VERSORGUNG			
FUSSABDRUCK (pro Kopf)				EXISTIERENDE BOKAPAZITÄT IN DER STADT			
Kategorie	total	Äquivalenzfaktor	Äquivalenz	Kategorie	Ertragsfaktor	Stadtsfläche	angeplich. Ertrag
FUSSABDRUCK (pro Kopf)	[ha/E]	[-]	[ha/E]			[ha/E]	äquiv. Fläche
			total				[ha/E]
Fossile Energie	1,89	1,1	2,153	CO2-Absorptionsfläche	0	0,00	0,00
Bebaute Fläche	0,01	2,8	0,034	Bebaute Fläche	0,97	0,012	0,033
Ackerland	0,16	2,8	0,446	Ackerland	0,97	0,005	0,012
Weiden	1,23	0,5	0,664	Weiden	2,04	0,002	0,002
Wald	0,16	1,1	0,186	Wald	0,44	0,005	0,003
Meer	0,26	0,2	0,057	Meer	1,00	0,000	k.A.
Total benutzt	3,7		3,54	Total vorhanden		0,024	0,050
Total für Wien [ha]			5.697.465	Total vorhanden	(minus 12% für Biodiversität)		0,044

Tabelle A12: Fußabdruckwert bei 20%-iger Reduktion der Flächenkomponente (Sensitivitätsanalyse des nach der Originalmethodik bestimmten Fußabdruckwerts)

Energiebilanz: Umrechnungsfaktoren	EF-AUST, Wackernagel, Daten 1993: Preis in [US\$]	Statistisches		
Kategorien	Energy intensity [G/t] embodied energy	Inkorporierte Energie im Nettoimport [P]	Zusätzliche Flächenkomponente [ha/E]	Landtypus
Getränke	10			
alkoholische Getränke				
Rohmaterialien				
bearbeitetes Holz	5	0,34		
Pulpe und Altpapier	5	0,00		
Mineralien	1,5	14,77		
Metallerze	1,5	0,31		
Eisen und Stahl				
Brennstoffe und Mineralien	(This category is already included in the fossil energy consumption above)			
Rohbenzin				
Erdölprodukte				
Chemikalien				
organische Chemikalien	40	-0,43		
organische-anorganische Chemikalien	40	0,00		
Färbstoffe	20	0,00		
Pigmente, Farben	20	-0,61		
Pharmazeutische Produkte	20	0,23		
Kunststoffe	50	6,77		
Gummiwaren	35	0,98		
Papier und Pappe	35	3,64		
Textilien	20	-0,05	-0,000950633	Ackerland
Eisen und Stahl	30	4,78		
Metallerzeugnisse	60	8,84		
Industrieprodukte	in "Metallerzeugnisse" enthal	0,00		
Krafterzeugung	in "Metallerzeugnisse" enthal	0,00		
Interne Verbrennung	140	0,00		
El. Drehanlagen	100	0,00		
Spezielle industr. Ausrüstung	100	-0,43		
Traktoren				
Ausrüstung für Bauwesen				
Textilien und Leder				
Papier- und Mahlausrüstung				
andere Ausrüstung für spez. Industrie				
Metalverarbeitungs-ausrüstung	100	-0,16		
Allgem. Industrie	100	-1,86		
Kühlung und Heizung	100	0,00		
Flüssigkeitspumpen	100	0,00		
Pumpenzubehör und Zentrifugen	100	0,00		
Nichtelektrische Maschinen	100	0,00		
Nichtelektrischer Zubehör	100	0,00		
Büromaschinen	140	0,48		
Autom. Datenverarbeitung	140	0,00		
Bürozubehör	140	0,00		
Telekomm und Schall	140	-0,23		
El. Ausrüstung	100	0,45		
Strassenfahrzeuge	140	6,23		
Div. Gewerbeprodukte				
Kleidung und Accessoires	20	0,29	0,005723106	Ackerland
Präzisionsinstrumente	100	0,23		
Div. Gewerbeerzeugnisse	100	1,17		
Nicht erfasste Güter				
Spezielle Transaktionen	5	0,00		
Gold und Schmuck	150	0,00		
Total		45,8		
Inkorp. E. pro-Kopf-Nettoimport:			28,4 [Gj/E.a]	

Tabelle A13: Reduktion der inkorporierten Energiekomponente des Ökologischen Fußabdruckes von Wien um 20% (Sensitivitätsanalyse des nach der Originalmethodik bestimmten Fußabdruckwerts)

Spezifischer Energiefußabdruck	Umrechnungs- /Absorptionskoeffizient [-]	Spezifischer Energieverbrauch [Gj/E.a]	Fussabdruckkomponente [ha/E]	Erläuterung
[Gj/ha.a] Koks und Kohle	55	12,5	0,227	Fläche für fossile Energie: Koks und Kohle
[Gj/ha.a] flüssige Brennstoffe	71	37,7	0,531	Fläche für fossile Energie: flüssige Brennstoffe
[Gj/ha.a] Erdgas	93	46,1	0,496	Fläche für fossile Energie: Erdgas
[Gj/ha.a] Nuklearenergie	71	9	0,128	Fläche für fossile Energie: Nuklearenergie
[Gj/ha.a] angenommen als fossile Energie / inkorporierte Energie in den importierten Gütern	71	28,4	0,400	Fläche für fossile Energie, inkorporiert in Nettoimportgütern
[Gj/ha.a] hydroel. Energie	1.000	7,6	0,008	Bebaute Fläche für Wasserenergie
[Gj/ha.a] Energie, basiert auf Holzfasern und sonstigen Bioenergieträgern	k.A.	k.A.	k.A.	Waldfläche

Tabelle A14: Energiebilanz nach 20%-iger Reduktion der inkorporierten Energie

ZUSAMMENFASSUNG							
BENÖTIGT				VERSÖRGUNG			
FUSSABDRUCK (pro Kopf)				EXISTIERENDE BIODIVERSITÄT IN DER STADT			
Kategorie	total	Äquivalenzfaktor [-]	Äquivalenz [ha/E] total	Kategorie	Ertragsfaktor	Stadts-Fläche [ha/E]	angeglich. Ertrag äquiv. Fläche [ha/E]
FUSSABDRUCK (pro Kopf)	[ha/E]						
Fossile Energie	1,79	1,1	2,04	CO2-Absorptionsfläche	0	0,00	0,00
Bebaute Fläche	0,01	2,8	0,03	Bebaute Fläche	0,97	0,012	0,033
Ackerland	0,20	2,8	0,55	Ackerland	0,97	0,005	0,012
Weiden	1,53	0,5	0,83	Weiden	2,04	0,002	0,002
Wald	0,20	1,1	0,23	Wald	0,44	0,005	0,003
Meer	0,33	0,2	0,07	Meer	1,00	0,000	k.A.
Total benutzt	4,1		3,76	Total vorhanden		0,024	0,050
Total für Wien [ha]			6.052.987	Total vorhanden (minus 12% für Biodiversität)			0,044

Tabelle A15: Fußabdruckwert bei 20%-iger Reduktion der inkorporierten Energiekomponente (Sensitivitätsanalyse des nach der Originalmethodik bestimmten Fußabdruckwertes)

ENERGIEBILANZ				
Spezifischer Energiefußabdruck	Umrechnungs- /Absorptionskoeffizient [-]	Spezifischer Energieverbrauch [Gj/E.a]	Fussabdruckkomponente [ha/E]	Erläuterung
[Gj/ha.a] Koks und Kohle	55	10,0	0,182	Fläche für fossile Energie: Koks und Kohle
[Gj/ha.a] flüssige Brennstoffe	71	30,2	0,425	Fläche für fossile Energie: flüssige Brennstoffe
[Gj/ha.a] Erdgas	93	36,9	0,397	Fläche für fossile Energie: Erdgas
[Gj/ha.a] Nuklearenergie	71	7	0,102	Fläche für fossile Energie: Nuklearenergie
[Gj/ha.a] angenommen als fossile Energie / inkorporierte Energie in den importierten Gütern	71	36	0,500	Fläche für fossile Energie, inkorporiert in Nettoimportgütern
[Gj/ha.a] hydroel. Energie	1.000	6,1	0,006	Bebaute Fläche für Wasserenergie
[Gj/ha.a] Energie, basiert auf Holzfasern und sonstigen Bioenergieträgern	k.A.	k.A.	k.A.	Waldfläche

Tabelle A16: Energiebilanz nach 20%-iger Reduktion der Energiekomponente

ZUSAMMENFASSUNG							
BENÖTIGT				VERSÖRGUNG			
FUSSABDRUCK (pro Kopf)				EXISTIERENDE BIODIVERSITÄT IN DER STADT			
Kategorie	total	Äquivalenzfaktor [-]	Äquivalenz [ha/E] total	Kategorie	Ertragsfaktor	Stadts-Fläche [ha/E]	angeglich. Ertrag äquiv. Fläche [ha/E]
FUSSABDRUCK (pro Kopf)	[ha/E]						
Fossile Energie	1,61	1,1	1,84	CO2-Absorptionsfläche	0	0,00	0,00
Bebaute Fläche	0,01	2,8	0,03	Bebaute Fläche	0,97	0,012	0,033
Ackerland	0,20	2,8	0,55	Ackerland	0,97	0,005	0,012
Weiden	1,53	0,5	0,83	Weiden	2,04	0,002	0,002
Wald	0,20	1,1	0,23	Wald	0,44	0,005	0,003
Meer	0,33	0,2	0,07	Meer	1,00	0,000	k.A.
Total benutzt	3,9		3,56	Total vorhanden		0,024	0,050
Total für Wien [ha]			5.726.872	Total vorhanden (minus 12% für Biodiversität)			0,044

Tabelle A17: Fußabdruckwert bei 20%-iger Reduktion der Energiekomponente (Sensitivitätsanalyse des nach der Originalmethodik bestimmten Fußabdruckwertes)

ENERGIEBILANZ

Spezifischer Energiefußabdruck	Umrechnungs- /Absorptionskoeffizient [-]	Spezifischer Energieverbrauch [Gj/E.a]	Fussabdruckkomponente [ha/E]	Erläuterung
[Gj/ha.a] Koks und Kohle	44	12,5	0,284	Fläche für fossile Energie: Koks und Kohle
[Gj/ha.a] flüssige Brennstoffe	57	37,7	0,664	Fläche für fossile Energie: flüssige Brennstoffe
[Gj/ha.a] Erdgas	74	46,1	0,620	Fläche für fossile Energie: Erdgas
[Gj/ha.a] Nuklearenergie	57	9	0,160	Fläche für fossile Energie: Nuklearenergie
[Gj/ha.a] angenommen als fossile Energie / inkorporierte Energie in den importierten Gütern	57	35,5	0,626	Fläche für fossile Energie, inkorporiert in Nettoimportgütern
[Gj/ha.a] hydroel. Energie	800	7,6	0,010	Bebaute Fläche für Wasserenergie
[Gj/ha.a] Energie, basiert auf Holzfasern und sonstigen Bioenergieträgern	k.A.	k.A.	k.A.	Waldfläche

Tabelle A18: Energiebilanz nach 20%-iger Reduktion der Absorptionskoeffizienten

ZUSAMMENFASSUNG							
BENÖTIGT				VERSORGUNG			
FUSSABDRUCK (pro Kopf)				EXISTIERENDE BIOKAPAZITÄT IN DER STADT			
Kategorie	total	Äquivalenzfaktor [-]	Äquivalenz [ha/E]	Kategorie	Ertragsfaktor	Stadtsfläche [ha/E]	angeglich. Ertrag äquiv. Fläche [ha/E]
FUSSABDRUCK (pro Kopf)	[ha/E]		total				
Fossile Energie	2,36	1,1	2,69	CO2-Absorptionsfläche	0	0,00	0,00
Bebaute Fläche	0,01	2,8	0,03	Bebaute Fläche	0,97	0,012	0,033
Ackerland	0,20	2,8	0,59	Ackerland	0,97	0,005	0,012
Weiden	1,53	0,5	0,83	Weiden	2,04	0,002	0,002
Wald	0,20	1,1	0,23	Wald	0,44	0,005	0,003
Meer	0,33	0,2	0,07	Meer	1,00	0,000	k.A.
Total benutzt	4,6		4,41	Total vorhanden		0,024	0,050
Total für Wien [ha]			7.102.742	Total vorhanden (minus 12% für Biodiversität)			0,044

Tabelle A19: Fußabdruckwert bei 20%-iger Reduktion der Absorptionskoeffizienten (Sensitivitätsanalyse des nach der Originalmethodik bestimmten Fußabdruckwertes)

ZUSAMMENFASSUNG							
BENÖTIGT				VERSORGUNG			
FUSSABDRUCK (pro Kopf)				EXISTIERENDE BIOKAPAZITÄT IN DER STADT			
Kategorie	total	Äquivalenzfaktor [-]	Äquivalenz [ha/E]	Kategorie	Ertragsfaktor	Stadtsfläche [ha/E]	angeglich. Ertrag äquiv. Fläche [ha/E]
FUSSABDRUCK (pro Kopf)	[ha/E]		total				
Fossile Energie	1,89	0,9	1,72	CO2-Absorptionsfläche	0	0,00	0,00
Bebaute Fläche	0,01	2,3	0,03	Bebaute Fläche	0,97	0,012	0,026
Ackerland	0,20	2,3	0,44	Ackerland	0,97	0,005	0,010
Weiden	1,53	0,4	0,66	Weiden	2,04	0,002	0,002
Wald	0,20	0,9	0,19	Wald	0,44	0,005	0,002
Meer	0,33	0,2	0,06	Meer	1,00	0,000	k.A.
Total benutzt	4,2		3,10	Total vorhanden		0,024	0,040
Total für Wien [ha]			4.989.158	Total vorhanden (minus 12% für Biodiversität)			0,035

Tabelle A20: Fußabdruckwert bei 20%-iger Reduktion der Äquivalenzkoeffizienten (Sensitivitätsanalyse des nach der Originalmethodik bestimmten Fußabdruckwertes)