



Initiative zur Förderung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

**Ressourcen Management Agentur**

## **Der ökologische Fußabdruck der Stadt Wien**

(Projekt Footprint)

**Endbericht**

(Kurz- und Zusammenfassung)



Initiative zur Förderung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

**Ressourcen Management Agentur**

## **Der ökologische Fußabdruck der Stadt Wien** (Projekt Footprint)

**Endbericht**  
(Kurz- und Zusammenfassung)  
(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](mailto:rm.agentur@eudoramail.com)



---

## 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<sub>EF</sub>.cap and an annual contribution to the global warming potential of 3.61 t CO<sub>2</sub>/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”).
- 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 Aufgabe 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<sub>EF</sub>-E und ist mit einem jährlichen Beitrag zum Globalerwärmungspotential von 3,61 t CO<sub>2</sub>/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.

# 1 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.

## 1.1 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.

## 1.2 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.

## 1.3 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.

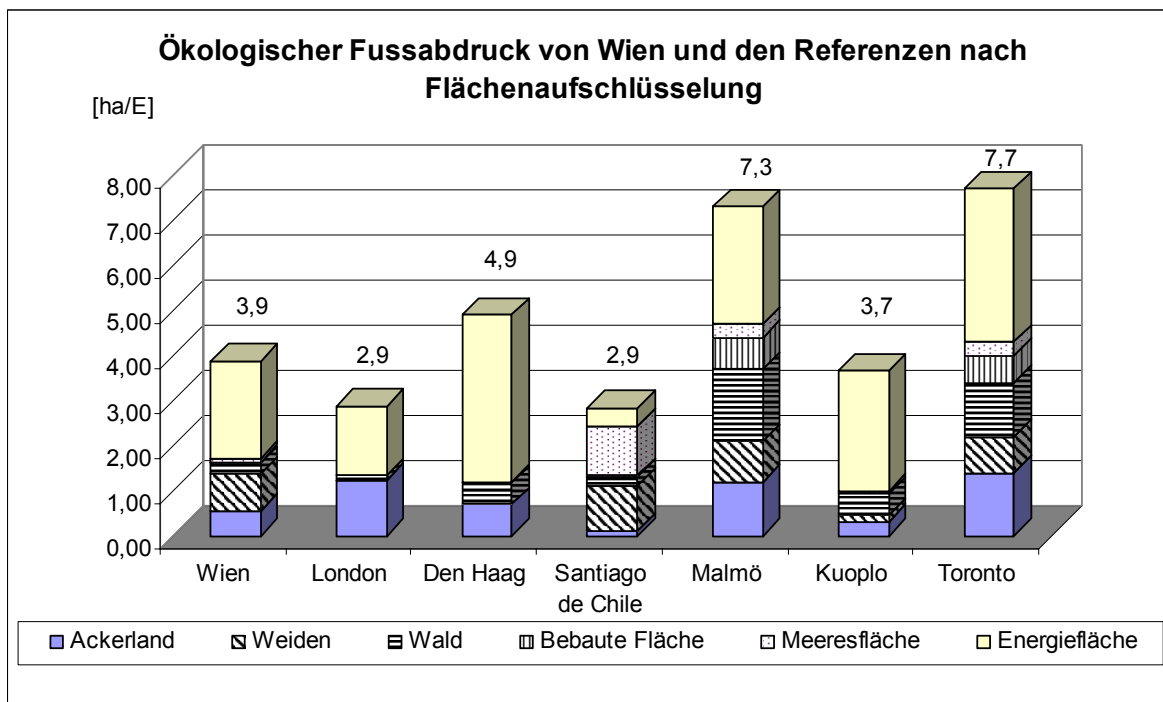


Abbildung 1-1: Vergleich des Ökologischen Fußabdrucks von Wien (Originalmethodik) mit den Referenzregionen

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]

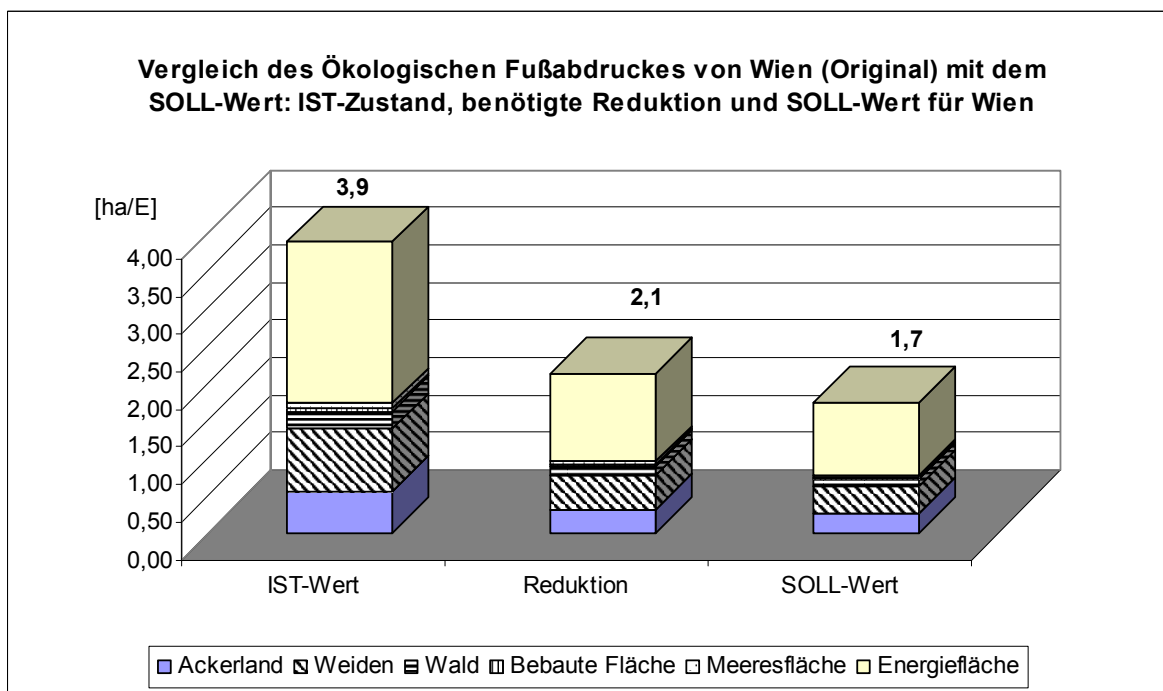


Abbildung 1-2: Gegenüberstellung des Ökologischen Fußabdrucks (Original) von Wien mit dem weltdurchschnittlichen SOLL-Wert und die notwendige Reduktion

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 Kuopio. 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 Kuopio 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 %
<b>Summe</b>	<b>3,9</b>	<b>4,1</b>	<b>-6 %</b>

*Tabelle 1-1: 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 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 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 Fußabdrucks 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 klimaneutralen 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 <sub>2</sub> -Einheiten, inkorporierte Energie	Energiefläche: CO <sub>2</sub> , absorbiert von Biomasse	Energieeinheiten (Solarenergie)	Energiefläche (Fotovoltaikanlagen)
Abfallwirtschaft: Feste Abfälle	Fossile Energieträger (CO <sub>2</sub> )	Energiefläche CO <sub>2</sub> , absorbiert von Biomasse	Fußabdrucktiefe, Fossile Energieträger (CO <sub>2</sub> )	Bodenvolumen (Deponievolumen), GWP, Wald
Abwasser, PHH: klimaneutrale CO <sub>2</sub> -Emissionen, Klärschlamm	- - -	- - -	Flächenwert, Fußabdrucktiefe	Wald, Bodenvolumen
Abgas: klimarelevante CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> -Emissionen, klimaneutrale CO <sub>2</sub> -Emissionen	- - -	- - -	Klimafaktor, Flächenwert	GWP-Beitrag, Wald
Volumetrische Ressourcen	-	-	Fußabdrucktiefe (Baumaterialien, Erdöl)	Rohstoffvolumen

Tabelle 1-2: Gegenüberstellung der Originalmethodik mit der modifizierten Methodik

Ein Vergleich der zwei Fußabdruckwerte, berechnet nach der Originalmethodik und nach der modifizierten Methodik, ist in der Tabelle 1-3 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.

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
<b>pro-Kopf-Fläche [ha/E]</b>	<b>3,9</b>	<b>3,1</b>
Total Fläche [ha]	6.236.447	4.980.476
		<b>Fußabdrucktiefe [m/ha<sub>EF.a</sub>]</b>
Deponievolumen		0,00001
Rohstoffvolumen (Baustoffe, Erdöl)		0,00027
<b>Total Fußabdrucktiefe</b>		<b>0,00028</b>
		<b>[t CO<sub>2</sub>/E.a]</b>
Abfallwirtschaft		2,14
Verkehr		1,47
<b>Beitrag zum GWP</b>		<b>3,61</b>

Tabelle 1-3: Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien, berechnet nach der Originalmethodik (EF Original) und nach der Modifizierten (EF Modifiziert)

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 ( $\leq 1$  % 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 1-4: 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.

## 1.4 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 Fußabdruckes 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 Rücksäcke 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 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.
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.

---

## 2 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.

### 2.1 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.

### 2.2 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.

## 2.3 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 2-1 giving a detailed breakdown of the various area categories. In a similar manner, Figure 2-2 shows Vienna’s footprint value against the defined World Sustainability Limit.

In general, the differences between Vienna and the other cities shown in Figure 2-1 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 Kuoplo. 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.

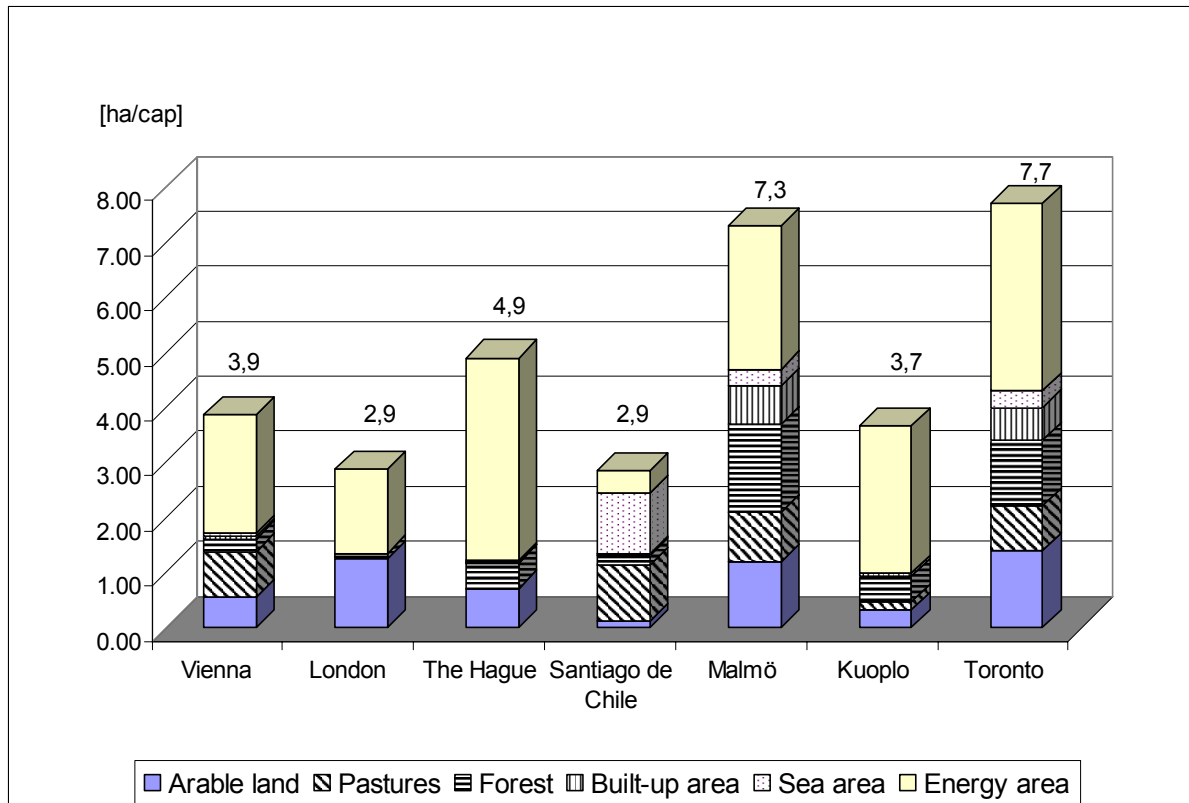


Figure 2-1: Ecological Footprint comparisons between Vienna (original method) and other reference regions

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”.

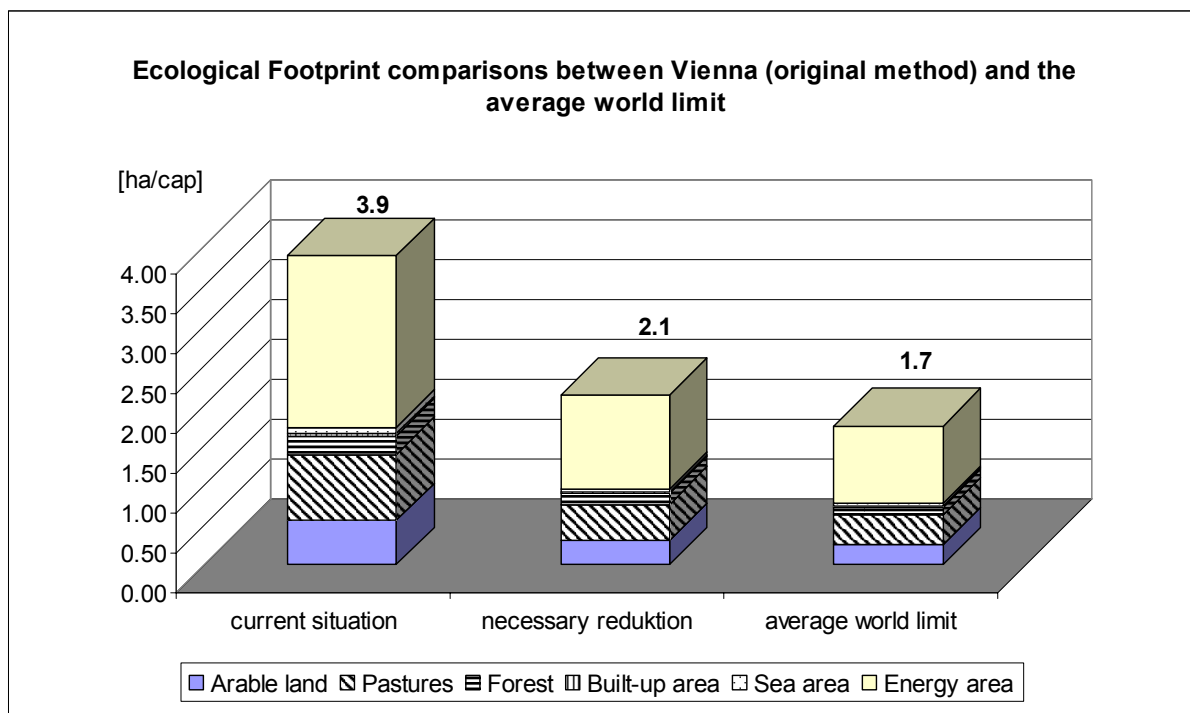


Figure 2-2: Ecological footprint comparisons between Vienna (original method), the average World sustainability Limit, and Vienna’s necessary reduction to achieve the world limit

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 %
<b>Total</b>	<b>3.9</b>	<b>4.1</b>	<b>-6 %</b>

Table 2-1: 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 Austrian [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 2-2.

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 <sub>2</sub> -units, embodied energy	energy area: CO <sub>2</sub> , absorbed by biomass	energy units (solar energy)	energy area: equivalent photovoltaic area
waste management: solid waste	fossil fuel (CO <sub>2</sub> )	energy area: CO <sub>2</sub> , absorbed by biomass	footprint depth, fossil fuel (CO <sub>2</sub> )	earth volume (landfill volume), GWP, forest
wastewater, private household: climate-neutral CO <sub>2</sub> -emissions, wastewater sludge	-	-	area value, footprint depth	forest, earth volume
waste gas: climate-relevant CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> -emissions, climate-neutral CO <sub>2</sub> -emissions	-	-	climate factor, area value	contribution to GWP, forest
voluminous resources	-	-	footprint depth (construction material, oil)	volume of resource

Table 2-2: 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 ( $\leq 1$  % 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 2-3. 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
<b>Per-capita area [ha/cap]</b>	<b>3.9</b>	<b>3.1</b>
Total EF area [ha]	6,236,447	4,980,476
		<b>Footprint depth [m/ha<sub>EF.a</sub>]</b>
Landfill volume		0.00001
Resource volume (construction material, oil)		0.00027
<b>Total footprint depth</b>		<b>0.00028</b>
		<b>[t CO<sub>2</sub>/cap.a]</b>
Waste management		2.14
Transport sector		1.47
<b>Contribution to GWP</b>		<b>3.61</b>

Table 2-3: 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 Kuoplo and The Hague. The total land area required for Malmö and Toronto is nearly 3 times that of Vienna'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.

## 2.4 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.