

Texte

46
07

ISSN
1862-4804

Wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“

Umwelt
Bundes
Amt 

Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 363 01 135
UBA-FB 001089



**Wissenschaftliche
Untersuchung und Bewertung
des Indikators
„Ökologischer Fußabdruck“**

von

**Stefan Giljum, Mark Hammer,
Andrea Stocker, Maria Lackner**

Sustainable Europe Research Institute (SERI), Wien

**Aaron Best, Daniel Blobel, Wesley Ingwersen,
Sandra Naumann, Alexander Neubauer**

Ecologic, Berlin

Craig Simmons, Kevin Lewis, Stanislav Shmelev

Best Foot Forward (BFF), Oxford

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de>
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 1.1
Thomas Haberland

Dessau-Roßlau, Dezember 2007

Stefan Giljum
Mark Hammer
Andrea Stocker
Maria Lackner

Sustainable Europe Research Institute (SERI), Wien



Aaron Best
Daniel Blobel
Wesley Ingwersen
Sandra Naumann
Alexander Neubauer

Ecologic, Berlin



Craig Simmons
Kevin Lewis
Stanislav Shmelev

Best Foot Forward (BFF), Oxford



**Best Foot
Forward**

Vorhaben Z 6 – FKZ: 363 01 135

Wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“

Endbericht

Wien, den 15.12.2006

Zusammenfassung

Der Indikator „Ökologischer Fußabdruck“ ist weltweit einer der erfolgreichsten Indikatoren zur Vermittlung des Konzeptes der ökologischen Nachhaltigkeit und der physischen Begrenztheit des Planeten Erde. Der „Fußabdruck“ hat sich in den letzten 10 Jahren als eine der bedeutendsten Messgrößen für den Ressourcenverbrauch von Produktions- und Konsumaktivitäten auf internationaler Ebene etabliert und wird von einer Vielzahl von Institutionen zur Evaluierung von Umweltauswirkungen menschlicher Aktivitäten angewendet. Zu den Anwendern zählen Unternehmen genauso wie städtische und regionale Planungsinstitutionen sowie Umwelt- und Entwicklungsorganisationen auf allen Kontinenten. Beispiele für die Anwendung als Indikator auf nationaler Ebene liegen hingegen bislang nur vereinzelt vor.

Eine umfassende Analyse und Bewertung des Indikators Ökologischer Fußabdruck hinsichtlich seiner möglichen Anwendung als Nachhaltigkeitsindikator für Deutschland fehlte bislang. Das Projekt „**Wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“**“ für das Umweltbundesamt in Dessau versucht, diese Lücke zu schließen. Es wurde in einer Arbeitsgemeinschaft zwischen dem Sustainable Europe Research Institute (SERI) in Wien, Österreich, ECOLOGIC, Berlin sowie Best Foot Forward (BFF) in Oxford, Großbritannien ausgeführt.

Projektziele und Gliederung des Berichtes

Das Projekt verfolgte **vier Hauptziele**:

1. Beschreibung des State-of-the-Art bei der Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks und Erstellung eines Reviews existierender Berechnungen.
2. Analyse zugrunde liegender Daten am Beispiel der nationalen Berechnungen (National Accounts) von Deutschland und Darstellung der Hauptprobleme im Bereich der Datenqualität. Identifikation und Bewertung möglicher alternativer Datenquellen für Deutschland.
3. Kritische Analyse der existierenden Berechnungen des Ökologischen Fußabdrucks, insbesondere hinsichtlich der Schwachstellen in der Berechnungsmethode sowie der Aussagekraft und Interpretierbarkeit des Indikators.
4. Erarbeitung und Präsentation von Vorschlägen, wie die identifizierten Schwächen verbessert werden können (vor allem hinsichtlich alternativer Datensätze und Berechnungsmethoden) und für welche Anwendungsgebiete der Fußabdruck geeignet erscheint.

Der **Projektbericht** ist in **fünf Kapitel** gegliedert. Kapitel 1 liefert eine Einführung in das Projekt. Kapitel 2 enthält eine Beschreibung der Standardberechnungsmethode, eine kurze Übersicht der existierenden Fußabdrucksstudien auf nationaler Ebene und eine Zusammenfassung der aktuellsten Berechnungen des Fußabdrucks für Deutschland sowie der Stärken des Indikators Ökologischer Fußabdruck. Kapitel 3 analysiert die Datengrundlage der National Footprint Accounts für Deutschland, identifiziert die Hauptschwachstellen und wertet mögliche alternative Datenquellen aus nationalen Statistiken aus. Kapitel 4 beschäftigt sich einerseits mit den Schwachstellen und Kritikpunkten an der Methode und der Verrechnung und Aggregation der Primärdaten, andererseits werden die wichtigsten Aspekte hinsichtlich der Aussagekraft und Interpretierbarkeit des Fußabdrucks erläutert. Das abschließende Kapitel 5 enthält die Schlussfolgerungen hinsichtlich der Nutzung alternativer Daten, hinsichtlich der

Verbesserung methodischer Schwachpunkte sowie hinsichtlich der Anwendung des Indikators auf nationaler Ebene.

Ergebnisse der Analyse

Der Ökologische Fußabdruck ist kein allumfassender Indikator für Nachhaltigkeit, sondern wird – auch von seinen Befürwortern – als *ein* wichtiges Kriterium für ökologische Nachhaltigkeit gesehen. Der Fußabdruck wurde entwickelt, um eine zentrale Frage zu beantworten: Wie viel biologische Kapazität nutzt die Menschheit für ihre Aktivitäten und wie viel Kapazität steht dauerhaft zur Verfügung?

Die **Methode zur Berechnung des Fußabdrucks** auf nationaler Ebene wurde in den letzten Jahren stetig weiterentwickelt und verbessert. Wichtige Fragen, etwa hinsichtlich der Interpretation von Zeitreihen von Fußabdrücken, konnten durch diese Verbesserungen geklärt werden. Die derzeit in Ausarbeitung befindlichen *Ecological Footprint Standards* werden einen wichtigen Beitrag zur Homogenisierung der Methode auf internationaler Ebene leisten. Auch wurde die **Datengrundlage** sowohl hinsichtlich der Primärdaten als auch der angewendeten Verrechnungsfaktoren schrittweise verbessert.

Der **Fußabdruck** besitzt einerseits **einige wichtige Stärken gegenüber anderen Methoden und Indikatoren**: Er ermöglicht es, hochkomplexe Zusammenhänge der Wechselwirkungen zwischen Produktions- bzw. Konsumaktivitäten und der Belastung der Ökosysteme in einfacher und verständlicher Form darzustellen und besitzt dadurch eine ausgezeichnete Eignung für Kommunikations- und Bildungszwecke. Der Fußabdruck kann auf verschiedenen Ebenen (Unternehmen, Städte, Nationen) in konsistenter Weise berechnet und integriert werden. Und er ist der bislang einzige Ressourcenindikator, für den weltweite Vergleichsdaten aller Länder in einer Zeitreihe vorliegen.

Andererseits existiert trotz der genannten Weiterentwicklungen eine **Vielzahl von methodischen Kritikpunkten** am Konzept des Fußabdrucks, welche vor allem mit den grundsätzlichen Eigenschaften dieses Indikators in Verbindung stehen:

- Etwa der Tatsache, dass der Fußabdruck verschiedene Umweltkategorien (wie die Nutzung erneuerbarer Rohstoffe, Energie- und Landverbrauch sowie CO₂-Emissionen) mittels einer Vielzahl an Rechenfaktoren in oft nicht ausreichend transparenter Weise in einen hochaggregierten Indikator aufrechnet.
- Dass er sich bei dieser Verrechnung zwar auf die Dimension „Fläche“ bezieht, jedoch eine konstruierte Einheit (den „Globalen Hektar“) verwendet, die von der realen Flächennutzung abstrahiert.
- Dass der Fußabdruck die wichtige Dimension nicht-erneuerbarer Ressourcen nur indirekt einbezieht.
- Schließlich, dass der Fußabdruck vorgibt, die Grenze eines nachhaltigen Nutzungsniveaus auszuweisen und eine Übernutzung des vorhandenen Naturkapitals quantifizieren zu können, diese Berechnungen jedoch auf einer Vielzahl von (zum Teil stark kritisierten) Annahmen basieren.

Empfehlungen

In diesem Projekt wurden Empfehlungen hinsichtlich der Nutzung alternativer Datensätze, hinsichtlich methodischer Verbesserungen sowie hinsichtlich der Anwendung des Indikators erarbeitet:

Wichtige **Empfehlungen hinsichtlich der Verbesserung der Datengrundlage** umfassen unter anderem die Verbesserung der Transparenz und Verständlichkeit des Datenmaterials, die Nutzung von Sensitivitätsanalysen zur Identifizierung von prioritären Bereichen, die Abgleichung der Fußabdruck-Daten mit nationalen Statistiken, der Vergleich alternativer Datensätze und Korrektur von Schätzungen sowie die Überprüfung internationaler Hypothesen und Erhöhung der Detaildichte von handelsbezogenen Daten.

Als **Empfehlungen im Bereich methodischer Weiterentwicklungen** werden in diesem Bericht unter anderem die folgenden Punkte präsentiert: die Unterstützung des vom Global Footprint Network geleiteten Forschungsprogramms zur Verbesserung der Berechnungsmethode, welches eine große Zahl der in diesem Bericht identifizierten methodischen Kritikpunkte behandelt; die Verbesserung der Anbindung an existierende Umweltrechensysteme (wie etwa die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes); sowie die Berücksichtigung des Herkunfts- und Bestimmungslandes von Handelsgütern, um die globalen Verflechtungen über internationalen Handel besser abbilden zu können.

Für welche **Anwendungen** sich der Ökologische Fußabdruck als Indikator eignet, wird entscheidend von seinen Eigenschaften bestimmt. Die Vor- und Nachteile dieses Indikators im Vergleich zu anderen Messgrößen für ökologische Nachhaltigkeit müssen von potentiellen Nutzer/innen sorgsam abgewogen werden.

Die ausgezeichnete Eignung des Indikators Ökologischer Fußabdruck für Kommunikations- und Bildungszwecke ist unumstritten. Eine weitergehende und intensivere Nutzung des Indikators für Umwelt- und Nachhaltigkeitsbildung wird daher uneingeschränkt empfohlen. Des Weiteren ist der Ökologische Fußabdruck ein guter Indikator, um den gesamten Ressourcenkonsum (im Sinne der Berücksichtigung einer Reihe verschiedener Umweltkategorien in einer aggregierten Messzahl) einer Region oder eines Landes darzustellen. Durch seine weltweit harmonisierte Berechnung eignet sich der Fußabdruck vor allem auch für internationale Vergleiche.

Durch eine verbesserte Einbindung der Fußabdruckdaten in integrierte Umwelt-Wirtschaftsmodelle könnten in Zukunft zentrale Nachhaltigkeitsthemen (neben anderen Indikatoren) auch mit dem Ökologischen Fußabdruck analysiert werden: etwa die Abschätzung der Auswirkungen von Verbesserungen der Ökoeffizienz und von Veränderungen im Energiemix oder Veränderungen der Nachfrage nach verschiedenen Konsumgütern durch die Änderung von Lebensstilen.

Für eine Reihe von wichtigen Nachhaltigkeitsthemen ist der Fußabdruck jedoch als Messinstrument ungeeignet. Dazu zählen Themen wie Biodiversität, die Erhaltung der Ökosysteme, Ressourcenmanagement (insbesondere nicht-erneuerbarer Ressourcen), konkrete Umweltauswirkungen der Ressourcennutzung, sowie zentrale Aspekte anderer Nachhaltigkeitsdimensionen, wie soziale Gerechtigkeit, Gesundheit und Lebensqualität.

Inhaltsverzeichnis

1	<u>EINLEITUNG</u>	7
2	<u>GRUNDLAGEN</u>	8
2.1	ZUSAMMENFASSUNG DER METHODE	8
2.1.1.	GRUNDANNAHMEN DER BERECHNUNG	9
2.1.2.	Globale Hektar	10
2.1.3.	Die Berechnung des “Total Ecological Footprint“	11
2.1.4.	Die Berechnung der “Total Biological Capacity“	14
2.1.5.	Ökologisches Defizit	16
2.2	ZUSAMMENFASSUNG EXISTIERENDER STUDIEN	17
2.2.1.	Footprint of Nations und Living Planet Reports	17
2.2.2.	Nationale Studien	18
2.3	DER ÖKOLOGISCHE FUßABDRUCK VON DEUTSCHLAND	20
2.4	DIE STÄRKEN DES INDIKATORS „ÖKOLOGISCHER FUßABDRUCK“	21
3	<u>DATENANALYSE</u>	25
3.1	ANALYSE UND BEWERTUNG DER GERMAN NATIONAL FOOTPRINT ACCOUNTS	25
3.1.1.	GRUNDLAGEN DER NATIONAL FOOTPRINT ACCOUNTS	25
3.1.2.	Die nationale Berechnung am Beispiel von Weizen	26
3.1.3.	Datenprobleme in den Ecological Footprint Accounts	28
3.1.4.	Vorläufige Sensitivitätsanalyse	32
3.1.5.	Schlussfolgerungen	36
3.2	ANALYSE UND BEWERTUNG ALTERNATIVER DATENSÄTZE FÜR DEUTSCHLAND	38
4	<u>METHODE UND INTERPRETIERBARKEIT</u>	45
4.1	ANALYSE METHODISCHER SCHWÄCHEN UND KRITIKPUNKTE	45
4.1.1.	GRUNDFRAGEN ZUR KONZEPTION DES INDIKATORS	45
4.1.2.	Einbeziehung von verschiedenen Umweltkategorien	47
4.1.3.	Fragen der Aggregation	48
4.1.4.	Annahmen zur Landnutzung	50
4.1.5.	Fragen der Datenverarbeitung	52
4.1.6.	Der Fußabdruck von Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen	54
4.1.7.	Globale Auswirkungen und die Rolle des internationalen Handels	56
4.2	BEWERTUNG DER AUSSAGEKRAFT UND INTERPRETIERBARKEIT DES INDIKATORS	58
4.2.1.	Vor- und Nachteile der Einheit „Globaler Hektar“	58
4.2.2.	Fußabdruck des Konsums oder der Produktion?	60
4.2.3.	Die Bedeutung von ökologischem Defizit und „Overshoot“	61

5	<u>EMPFEHLUNGEN</u>	64
5.1	VORSCHLÄGE ZUR VERBESSERUNG DER DATENGRUNDLAGE	64
5.1.1.	SPEZIFISCHE VORSCHLÄGE FÜR DEN ÖKOLOGISCHEN FUßABDRUCK	64
5.1.2.	SCHAFFUNG EINER GEMEINSAMEN DATENBASIS FÜR INDIKATOREN ZUR RESSOURCENNUTZUNG	66
5.2	METHODISCHE WEITERENTWICKLUNGEN	67
5.2.1.	UNTERSTÜTZUNG DES FORSCHUNGSPROGRAMMS DES GLOBAL FOOTPRINT NETWORK	67
5.2.2.	FÖRDERUNG DER ANBINDUNG AN EXISTIERENDE UMWELTRECHENSYSTEME	68
5.2.3.	BERÜCKSICHTIGUNG DER HERKUNFT UND DESTINATION VON HANDELSGÜTERN	68
5.2.4.	WEITERE SCHWERPUNKTE	69
5.3	SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE ANWENDUNG DES INDIKATORS	71
5.3.1.	GRUNDFRAGEN ZUR ANWENDUNG	71
5.3.2.	ANWENDUNGSFELDER	72
	<u>LITERATUR</u>	74
	<u>ANNEX</u>	78
A1.	WELTWEITER VERGLEICH DER ÖKOLOGISCHEN FUßABDRÜCKE, 2002	78
A2.	ZUSAMMENFASSUNG DER FOOTPRINT ACCOUNTS FÜR DEUTSCHLAND	79

1 Einleitung

Der Indikator „Ökologischer Fußabdruck“ hat sich in den letzten 10 Jahren als eine der bedeutendsten Messgrößen für den Ressourcenverbrauch von Produktions- und Konsumaktivitäten auf internationaler Ebene etabliert. Der Fußabdruck wird heute vor allem als Instrument zur Kommunikation von Themen aus dem Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit sowie zur Bewusstseinsbildung eingesetzt. Er kommt weltweit in einer Vielzahl von Institutionen, unter diesen vor allem städtische und regionale Verwaltungen, Bildungseinrichtungen, Unternehmen und Nichtregierungsorganisationen (NGO's), zur Anwendung.

Eine umfassende Analyse und Bewertung des Indikators Ökologischer Fußabdruck hinsichtlich seiner möglichen Anwendung als Umweltindikator für Deutschland fehlte bislang. Das Projekt „*Wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“*“ versucht, diese Lücke zu schließen.

Das Projekt verfolgte vier Hauptziele.

1. Beschreibung des State-of-the-Art bei der Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks und Erstellung eines Reviews existierender Berechnungen.
2. Analyse zugrunde liegender Daten am Beispiel der National Accounts von Deutschland und Darstellung der Hauptprobleme im Bereich der Datenqualität. Identifikation und Bewertung möglicher alternativer Datenquellen für Deutschland.
3. Kritische Analyse der existierenden Berechnungen des Ökologischen Fußabdrucks, insbesondere hinsichtlich der Schwachstellen in der Berechnungsmethode sowie der Aussagekraft und Interpretierbarkeit des Indikators.
4. Erarbeitung und Präsentation von Vorschlägen, wie die identifizierten Schwächen verbessert werden können (vor allem hinsichtlich alternativer Datensätze und Berechnungsmethoden) und für welche Anwendungsgebiete der Fußabdruck geeignet erscheint.

Es ist wichtig, herauszustreichen, dass dieses Projekt aufgrund begrenzt zur Verfügung stehender Zeit auf die nationale (Makro-)Ebene und die mögliche Anwendung des Indikators in Bundeseinrichtungen fokussierte. Es wurde daher keine umfassende Analyse der Anwendungen auf anderen Ebenen (Unternehmen, Haushalte, Städte, Regionen) durchgeführt.

Dieses Projekt für das Umweltbundesamt in Dessau wurde in einer Arbeitsgemeinschaft zwischen dem Sustainable Europe Research Institute (SERI) in Wien, Österreich, ECOLOGIC, Berlin sowie Best Foot Forward (BFF) in Oxford, Großbritannien ausgeführt. Dadurch wurde einerseits die Neutralität in der Bewertung des Indikators sichergestellt, andererseits international anerkannte Expertise im Bereich von Fußabdruckberechnungen in das Projektteam direkt einbezogen.

Der Projektendbericht ist in vier große Teile gegliedert:

Kapitel 2 enthält eine Beschreibung der Standardberechnungsmethode (2.1) sowie eine kurze Übersicht der existierenden Fußabdruckstudien auf nationaler Ebene (2.2). Kapitel 2.3 fasst die aktuellsten Berechnungen des Fußabdrucks für Deutschland zusammen. Kapitel 2.4 liefert eine Zusammenfassung der Stärken des Indikators Ökologischer Fußabdruck.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit der Datengrundlage der National Footprint Accounts für Deutschland. In Kapitel 3.1 wird diese im Detail analysiert und Schwachstellen identifiziert. Mögliche alternative Datenquellen aus nationalen Statistiken werden in Kapitel 3.2 gesammelt und ausgewertet.

Kapitel 4 des Berichtes beschäftigt sich einerseits mit den Schwachstellen und Kritikpunkten an der Methode und der Verrechnung und Aggregation der Primärdaten zum Gesamtfußabdruck (4.1). Andererseits werden die wichtigsten Aspekte hinsichtlich der Aussagekraft und Interpretierbarkeit für die politik-orientierte Anwendung erläutert (4.2).

Das abschließende Kapitel 5 enthält schließlich die Schlussfolgerungen hinsichtlich der Nutzung alternativer Daten (5.1.), hinsichtlich der Verbesserung methodischer Schwächen (5.2) sowie hinsichtlich der Anwendung des Indikators auf nationaler Ebene (5.3).

2 Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen für das Verständnis des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“ gelegt. Die aktuellste Berechnungsmethode wird ausführlich dargestellt und es wird ein Überblick über existierende Arbeiten auf nationaler Ebene gegeben. Die aktuellsten Zahlen zur Berechnung des Fußabdrucks von Deutschland werden diskutiert, sowie die Stärken des Fußabdruck-Konzeptes zusammengefasst.

2.1 Zusammenfassung der Methode

Das Grundkonzept des Ökologischen Fußabdrucks wurde in den frühen 1990er Jahren von Mathis Wackernagel und William Rees entwickelt (Rees and Wackernagel, 1992). Die Autoren wollten ein Planungswerkzeug schaffen, welches es vermag, die immer lauter werdende Kritik an der Zukunftsfähigkeit der menschlichen Lebensweise in gemeinsames Handeln umzusetzen. Sie waren und sind davon überzeugt, dass die menschliche Gesellschaft nicht als von der Natur getrennt betrachtet werden kann, sondern menschliches Leben und Handeln innerhalb eines natürlichen Kontextes gesehen und analysiert werden muss. Jegliches Wachstum – sei es wirtschaftlicher oder demographischer Art – sollte daher innerhalb der natürlich gegebenen Schranken gedacht und berechnet werden (Wackernagel and Rees, 1996).

Der Ökologische Fußabdruck ist ein Nachhaltigkeitsindikator, der die anthropogene Nachfrage nach natürlichen Ressourcen dem Angebot der Ökosysteme gegenüberstellt. Hierbei wird „starke Nachhaltigkeit“ aufgezeigt, d.h., dass die Berechnungen auf der Annahme beruhen, dass Naturkapital nur eingeschränkt durch menschen-gemachtes Kapital substituiert werden kann, was „schwache Nachhaltigkeit“ erlauben würde (Ekins et al., 2003).

Die Berechnung des Fußabdrucks bezieht allerdings nicht das gesamte Naturkapital mit ein, welches alle materiellen Aspekte (dieses Planeten) umfassen würde, die dem Menschen Nutzen bringen, sondern beschränkt sich auf Teile des kritischen Naturkapitals („critical natural capital“). Dieses ist definiert als jener Teil der natürlichen Umwelt, welcher „wichtige und unersetzliche Funktionen leistet“ (Ekins, 2003), oder wie es Wackernagel ausdrückt „für ein kohlenstoffbasiertes Leben absolut unentbehrlich ist“ (Wackernagel et al., 2005). Dieses „life-supporting natural capital“ ermöglicht die Fähigkeit der Biosphäre zur Ressourcen-erneuerung und zur Regeneration. Monetäre Bewertungsmethoden sind für dessen Berechnung unzureichend, da Klimastabilität, Absorptionsvermögen der Biosphäre, Bodenfruchtbarkeit und ähnliches sich nicht oder nur unzureichend in Marktpreisen widerspiegeln und die Berechnung der Ressourcenkapazität und des Regenerations-

vermögens der Erde in monetären Einheiten daher nicht möglich ist (Wackernagel et al., 2005). Der Ökologische Fußabdruck misst den menschlichen Verbrauch an Material, Energie und Fläche deshalb in biophysischen Einheiten.

Der Ökologische Fußabdruck umfasst jene Fläche, die notwendig ist, um den sozioökonomischen Ressourcenverbrauch (auf globaler, nationaler, regionaler, lokaler, institutioneller oder auch individueller Ebene) in einem bestimmten Zeitraum (meistens ein Jahr) mit verfügbaren Technologien und unter gegebenen Ressourcenmanagementbedingungen aufrechtzuerhalten, Abfall- und Schadstoffe zu absorbieren und Infrastruktur bereitzustellen (GFN, 2006a). Dabei werden Land- und Wasserflächen mitberücksichtigt.

Die Bezeichnung „Ökologische Fußabdruckberechnung“ („Ecological Footprint Accounting“) bezieht sich im engeren Sinne nur auf die Nachfrageseite und müsste daher korrekterweise als „Ökologische Fußabdrucks- und Biokapazitätsberechnung“ bezeichnet werden, da auch die Angebotsseite in die Berechnung mit einfließt (Schaefer et al., 2006). Im Weiteren wird die gängige und kürzere Bezeichnung „Ecological Footprint Accounting“ verwendet.

Der Fußabdrucksindikator ist nicht als Prognosemodell konzipiert, sondern beschreibt primär den Flächenbedarf für vergangene Zeiträume, für die sozioökonomische und biophysische Daten verfügbar sind (Wackernagel and Ferguson, 1999).

Die Berechnungsmethode des Ökologischen Fußabdrucks hat sich in den letzten 15 Jahren ständig weiterentwickelt und verbessert. Das Global Footprint Network (GFN) und seine über 70 Partnerorganisationen arbeiten daran, die Berechnungsweise nachvollziehbarer und transparenter zu gestalten und zu standardisieren, um internationale Vergleichbarkeit zu gewährleisten und den Fußabdruck als ökologischen Nachhaltigkeitsindikator auch als Grundlage politischer Entscheidungsprozesse zu etablieren (GFN, 2005). Die erste Version einer Standardisierungsvorlage (Ecological Footprint Standards 2006) des Global Footprint Network ist seit Juni 2006 online einzusehen (<http://www.footprintstandards.org>).

2.1.1. Grundannahmen der Berechnung

Das Global Footprint Network publiziert jedes Jahr die „National Footprint and Biocapacity Accounts“, welche den aktuellen Stand der Berechnungsmethode wiedergeben (GFN, 2006a; Wackernagel et al., 2004b; Wackernagel et al., 2005).

Fußabdruckberechnungen unterliegen sechs Grundannahmen (GFN, 2006a):

- Der Großteil des anthropogenen Ressourcenverbrauchs und der daraus resultierenden Abfallmengen kann grundsätzlich identifiziert werden.
- Die meisten dieser Ressourcen- und Abfallmengen können in bioproduktiven Flächen gemessen werden, die für deren Bereitstellung oder Beseitigung benötigt werden. Nicht messbare Mengen werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.
- Unterschiedlich bioproduktive Flächen können in eine gemeinsame Maßeinheit (Globale Hektar) umgewandelt werden, welche dem Weltdurchschnitt an Flächenproduktivität entspricht.
- Da jeder Globale Hektar eines Jahres den gleichen Betrag an Bioproduktivität widerspiegelt, können diese aufsummiert werden.
- Wird sowohl die menschliche Ressourcennachfrage als auch das natürliche Angebot in Globalen Hektar angegeben, können diese direkt miteinander verglichen werden.
- Die so errechnete Flächennachfrage kann das verfügbare Flächenangebot übersteigen.

Die ersten Berechnungen des Ökologischen Fußabdrucks verfolgten einen komponentenbasierten Ansatz („Component approach“), d.h. alle als relevant erachteten Konsumkategorien wurden vorweg identifiziert und die einzelnen Fußabdrücke dieser Kategorien mit Hilfe von „Live Cycle Analyses“ (LCA) getrennt voneinander berechnet und anschließend addiert. Dieser „bottom up“-Ansatz wies einige Schwächen auf, da die LCA-Daten, welche den Material- und Energiekonsum einzelner Waren oder Dienstleistungen von der Produktion über den Verbrauch bis hin zur Entsorgung aufzeigen, teilweise unvollständig bzw. unzuverlässig waren und sind. Auch war das GFN mit dem Problem möglicher Doppelzählungen einzelner Komponenten und der unterschiedlichen Produktionseffizienz bei der Herstellung gleichartiger Güter konfrontiert.

Mit Hilfe der heute für nationale Berechnungen bevorzugten „compound“-Methode konnten diese methodischen Schwächen zum Großteil überwunden werden, da dieser „top down“-Ansatz auf bereits aggregierte Datensätze auf nationaler Ebene zurückgreift und daher ein detailliertes Wissen über die einzelnen Endverbräuche nicht notwendig ist. Die dieser Methode zu Grunde liegenden Daten müssen allerdings verlässlich genug sein, um fundierte Aussagen treffen zu können (Wackernagel et al., 2005).

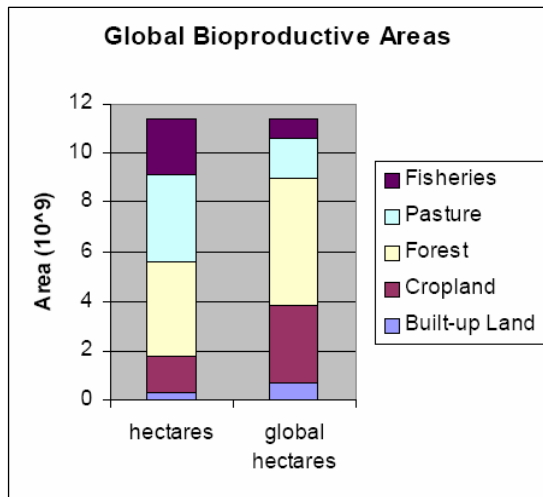
Nationale Fußabdruckberechnungen stützen sich auf ökonomische und biophysische Daten, welche von international anerkannten Institutionen, wie der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), der International Energy Agency (IEA), der UN Statistics Division (UN COMTRADE) oder dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) veröffentlicht werden. Auch von Experten begutachtete Studien aus diversen Fachzeitschriften können als Datenquellen dienen (GFN, 2006a). Ein großer Teil dieser Daten bezieht sich auf den Bereich der Materialflüsse, wie sie auch in Materialflussanalysen (MFA's) zur Anwendung kommen. Das Global Footprint Network ist daher auch Teil einer von SERI geführten Initiative zur Harmonisierung von Basisdaten zwischen den „Ecological Footprint Accounts“ und der MFA auf nationaler Ebene (für Details siehe Kapitel 5.1).

Die Fußabdruckberechnung kann als eine Gleichung verstanden werden, welche das natürliche Angebot des Planeten, auch Biokapazität genannt, der anthropogenen Nachfrage, welche als Ökologischer Fußabdruck bezeichnet wird, gegenüberstellt. Um die zwei Teilbereiche („Total Ecological Footprint“ und „Total Biological Capacity“) vergleichen zu können, ist eine gemeinsame Maßeinheit notwendig. Sowohl der menschliche Verbrauch an erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen als auch die verfügbare Biokapazität werden deshalb in Globalen Hektar („global hectares“) ausgedrückt.

2.1.2. Globale Hektar

Die Verwendung von „Globalen Hektar“ als Maßeinheit beantwortet die Frage, wie viel der weltweit verfügbaren Biokapazität von einer bestimmten Aktivität beansprucht wird (Wackernagel et al., 2005). Jeder Globale Hektar umfasst den gleichen Betrag an biologischer Produktivität. Die Gesamtheit an Globalen und „tatsächlichen“ Hektar ist normiert und somit gleich groß. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, führt dies zu einer höheren Bewertung von Erntefläche („Cropland“) und Wald („Forest“) in Globalen Hektar, da diese Flächen gegenüber anderen Landkategorien eine höhere Produktivität aufweisen.

Abbildung 1: Bioproduktive Flächen in Hektar und Globalen Hektar



Quelle: Wackernagel et al., 2005

Bei der Normierung Globaler Hektar wurde bislang nicht direkt mitberücksichtigt, dass sich deren Produktivität über die Jahre verändert. Der Living Planet Report 2006 (WWF et al., 2006) verwendet deshalb erstmals die Einheit „konstante Globale 2003 Hektar“ („constant 2003 global hectares“). Die Produktivität konstanter Globaler Hektar wird über die Jahre hinweg als gleich bleibend angenommen. „Constant 2003 global hectares“ verschiedener Jahre entsprechen der Produktivität Globaler Hektar des Jahres 2003. Das Jahr 2003 wurde als Vergleichsjahr herangezogen, weil für dieses die aktuellsten Daten verfügbar sind. Ein Globaler Hektar für das Jahr 2003 und ein konstanter 2003 Globaler Hektar unterscheiden sich demnach nicht voneinander. Ein Globaler Hektar des Jahres 2000 entspricht aber nur 99%, ein Globaler Hektar des Jahres 1970 nur 89% eines konstanten 2003 Hektars, wodurch die niedrigere Flächenproduktivität vergangener Jahre aufgezeigt wird. Konstante Globale Hektar vermögen zeitliche Trends besser darzustellen als Globale Hektar (GFN, 2006a).

Die Berechnungsweise der konstanten jahrspezifischen Globalen Hektar soll in Zukunft noch verfeinert werden. Es soll zukünftig miteinbezogen werden, dass sich auch die Produktivität verschiedener Landkategorien über die Zeit verändert (GFN, 2006a). Ein möglicher Indikator für diesen Produktivitätsverlust ist HANPP („Human Appropriation of Net Primary Production“) (Haberl et al., 2004).

Eine weitere Alternative zur Berechnung in Globalen Hektar ist die Berechnung in tatsächlichen Hektar (actual hectares), welche dann sinnvoll erscheint, wenn die Frage beantwortet werden soll, wie viel physisches Land *tatsächlich* von einer bestimmten Aktivität beansprucht wird (Wackernagel et al., 2004a, siehe auch Kapitel 4).

2.1.3. Die Berechnung des “Total Ecological Footprint“

Die Gesamtnachfrage eines Landes wird als „Konsum = Produktion + Importe - Exporte“ berechnet. Exportgüter werden jenem Land zugerechnet, welches sie als Endnachfrager konsumiert. Fußabdrücke folgen demnach dem Prinzip der Konsumentenverantwortung; im Gegensatz zur Produzentenverantwortung, wo die Exporte dem exportierenden Land zugerechnet würden (Lenzen et al., 2006). Sekundärprodukte (z.B. Mehl, Zellstoff) werden in Primärproduktäquivalente umgewandelt (z.B. Weizen, Holz) und fließen als solche in die

Rechnung mit ein (GFN, 2006a). Der Flächenbedarf der Primärprodukte wird in Globalen Hektar berechnet, die Umrechnung der Sekundärprodukte basiert allerdings auf regionalen Erträgen.¹ Der Fußabdruck von Sekundärprodukten wird nur dann zum gesamten Fußabdruck hinzugefügt, wenn die Produkte gehandelt werden. Wird das Sekundärprodukt im Produktionsland konsumiert, bleibt sein Fußabdruck im Primärprodukt enthalten (Wackernagel et al., 2005).

In Produkten enthaltene Energie („embodied energy“) wird unabhängig vom Produktionsland angegeben. Für Exporte werden länderspezifische Umrechnungsfaktoren herangezogen, für Importe Weltdurchschnittswerte, um die embodied energy in CO₂-Emissionen und somit in Landflächen umzurechnen (Wackernagel et al., 2005).

Die Flächenkategorien

Der Gesamtkonsum eines Landes wird auf der höchsten Aggregationsebene auf fünf produktionsspezifische bioproduktive Flächen und eine hypothetische Energiefläche aufgeteilt. Diese sechs Kategorien können im Weiteren in verschiedene Konsumkategorien unterteilt werden, wie z.B. Nahrung, Mobilität, und Dienstleistungen.

Die sechs unterschiedenen Flächenkategorien sind:

- Erntefläche

Ernteprodukte (Crops) werden auf Ernteflächen (z.B. Äcker, Obstgärten) produziert. Auf Grund der stark abweichenden Produktivität verschiedener Ernteflächen wird diese Kategorie in „primary cropland“ und „marginal cropland“ unterteilt.

- Weidefläche (und Wiesen)

Der Weideflächenbedarf von Viehbeständen (und im weiteren tierischer Produkte) wird berechnet, indem man vom gesamten Nahrungsbedarf der Tiere alle anderen dokumentierten Nahrungsquellen (wie Ernteprodukte oder Fischmehl) abzieht.

- Fischereigründe

Der Fischkonsum wird den produktiven Gewässerflächen zugerechnet. Fischereigründe werden gemäß deren Bereitstellungskapazität von tierischen Proteinen im Vergleich zu jener von Grasflächen bewertet.

- Waldfläche

Forstprodukte werden den Wäldern zugerechnet. Die FAO weist hierbei Flächen, die zu mindestens 10% mit Bäumen bedeckt sind, als Wälder aus (Wackernagel et al., 2005).

- Bebautes Land

Es wird von der Annahme ausgegangen, dass Infrastruktur auf Ernteflächen entsteht, da die meisten menschlichen Siedlungen auf fruchtbaren Gebieten liegen. Auch Staudämme und Stauseen werden dieser Kategorie zugerechnet, da – um Doppelzählungen zu vermeiden – jede Kategorie nur ihrer primären Funktion zugeordnet wird.

- Energieland / CO₂-Land

Für die Schätzung der Flächenerfordernisse für die Nutzung fossiler Energie werden im Wesentlichen drei Methoden vorgeschlagen:

¹ Dies führt zu Inkonsistenzen in der Berechnungsmethode (siehe dazu Kapitel 4 für Details).

(a) Berechnung der Landfläche, die benötigt würde, um die gleiche Energiemenge, die aus fossilen Energieträgern stammt, mit alternativen Energien aus der Land- und Forstwirtschaft bereit zu stellen (z.B. Ethanol aus der Land- oder Methanol aus der Forstwirtschaft).

(b) Berechnung der Landfläche, die benötigt würde, um die gleiche Energiemenge wie aus fossilen Energieträgern mit erneuerbaren Energieträgern (insbesondere Holz) zur Verfügung zu stellen. Grundlage dieser Überlegung ist, dass die Gesamtmenge an Energie, die der Menschheit zur Verfügung steht, nicht reduziert werden soll, indem eine solche Fläche an Alternativenergien für zukünftige Generationen geschaffen werden müsste.

(c) Berechnung der Landfläche, die benötigt wird, um das aus der Nutzung fossiler Energieträger emittierte CO₂ auf Waldflächen zu binden (Sequestrierung).

In den meisten Fußabdruckstudien auf nationaler Ebene wird die dritte Methode verwendet. Diese berechnet den Konsum in CO₂-Emissionen, abzüglich der (auf ein Drittel der Emissionen geschätzte) Menge, welche von den Ozeanen jährlich absorbiert wird. Die durch die CO₂-Emissionen beanspruchte Fläche wird als „hypothetische Absorptionsfläche“ geschätzt; d.h. Waldfläche, die notwendig wäre, um diese CO₂-Emissionen zu absorbieren (siehe dazu auch Kapitel 4).

In Ermangelung anderer „durchrechenbarer“ Methoden wird Nuklearenergie in der derzeitigen Berechnungsmethode wie Fossilenergie behandelt, d.h. jene von Kernreaktoren produzierte Menge an Energie wird über angenommene CO₂-Äquivalente in Flächenbelegung umgerechnet.

Die Umrechnung in Globale Hektar

Die Umrechnung des nationalen Konsums erneuerbarer Ressourcen in Globale Hektar erfolgt in zwei Schritten. Zuerst wird der Konsum durch den durchschnittlichen weltweiten Ertrag der diesem Konsum zu Grunde liegenden Fläche dividiert. Bebaute Fläche wird mit dem jeweiligen Ertragsfaktor der Ernteprodukte multipliziert. CO₂-Emissionen werden durch das Absorptionsvermögen der Waldbestände dividiert (GFN, 2006a).

Im zweiten Berechnungsschritt werden die gewonnenen Erträge mit dem zugehörigen Äquivalenzfaktor multipliziert, welcher die unterschiedlichen durchschnittlichen Produktivitätsniveaus der verschiedenen Flächenkategorien beschreibt. Äquivalenzfaktoren übersetzen demnach spezifische Landkategorien, wie Weiden oder Ernteflächen, in eine universell normierte Flächeneinheit bioproduktiven Gebietes (Wackernagel et al., 2005).

Tabelle 1: Äquivalenzfaktoren 2003

Area Type	Equivalence Factor [gha/ha]
Primary Cropland	2.21
Forest	1.34
Grazing Land	0.49
Marine	0.36
Inland Water	0.36
Built	2.21

Quelle: GFN, 2006a

Die Äquivalenzfaktoren für „cropland“, „pasture“, „forest“ und „built-up area“ sind dem Modell der *Global Agro-Ecological Zones (GAEZ)* entnommen, welches vom Internationalen Institut für angewandte Systemanalyse (IIASA) und der FAO im Jahr 2000 entwickelt wurde (IIASA and FAO, 2000). Im Unterschied zu früheren Berechnungsarten beruhen diese Äquivalenzfaktoren nicht auf tatsächlichen, sondern auf potentiellen Erträgen der heimischen Biokapazität (siehe Tab. 1). Dadurch sind sie unabhängig von der tatsächlichen Produktivität, die je nach Einsatz externer Inputs (wie mechanische Energie, Düngemittel, Pestizid, etc.) sehr unterschiedlich sein kann.

Die Flächenäquivalente, die man nach diesen beiden Berechnungsschritten erhält, können nun aggregiert werden und bilden den gesamten Ökologischen Fußabdruck in Globalen Hektar ab.

In Abbildung 2 ist die Berechnungsweise des Fußabdrucks graphisch dargestellt. Die Abbildung wurde aus den „National Footprint and Biocapacity Accounts 2005“ entnommen (Wackernagel et al., 2005). Die englischsprachigen Bezeichnungen wurden beibehalten.

2.1.4. Die Berechnung der „Total biological capacity“

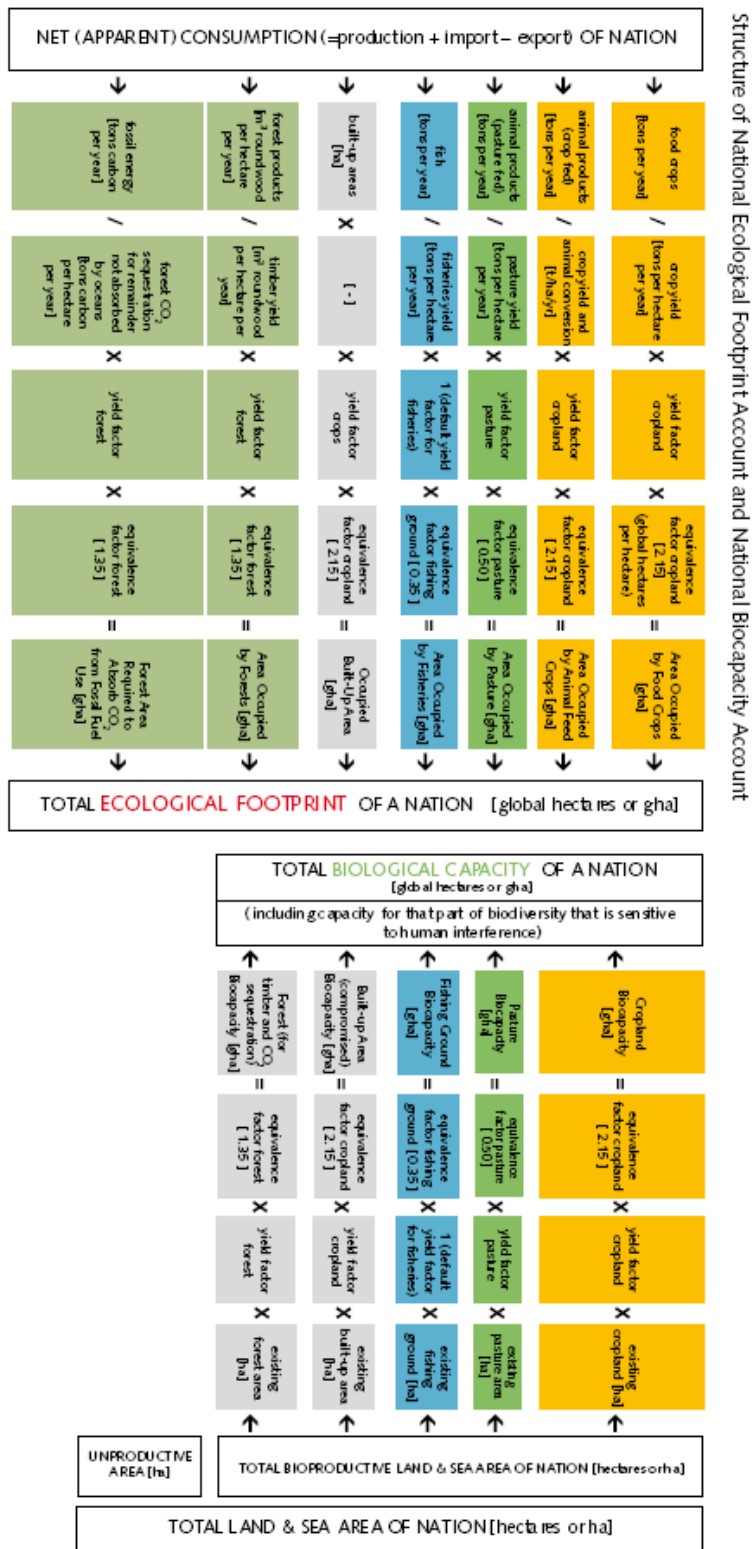
Als bioproduktive Flächen gelten jene Flächen, welche für den Menschen nützliche photosynthetische Abläufe und Biomasseakkumulation ermöglichen. Nichtproduktive Flächen, wie das offene Meer, Randregionen oder Wüsten werden nicht hinzugezählt (Lenzen and Murray, 2003). Im Jahre 2003 verfügte unser Planet über schätzungsweise 11,2 Milliarden Hektar an bioproduktiven Land- und Wasserflächen (GFN, 2006a). Im Vergleich dazu waren es unter den methodischen Annahmen aus dem Jahr 2004 11,4 Milliarden Hektar (Schaefer et al., 2006), im Jahr 1997 sogar nur 8,3 Milliarden Hektar (Wackernagel et al., 1997).

Dividiert man diese Fläche (2003) durch die 6,3 Milliarden Menschen, die 2003 die Erde bevölkerten, erhält man pro Kopf 1,8 Hektar an verfügbarer bioproduktiver Fläche. Diese Rechnung geht davon aus, dass keine Fläche als Lebensraum für andere Arten explizit reserviert wird (GFN, 2006). Frühere Berechnungsmethoden nahmen hingegen an, dass 12% der bioproduktiven Fläche für Naturschutz und den Schutz der Biodiversität bewahrt werden sollten (Wackernagel et al., 1997). Diese Veränderung in der Methode wird in den jüngsten Publikationen damit begründet, dass die Entscheidung, wie viel Fläche für andere Arten reserviert werden sollte, eine gesellschaftspolitische Entscheidung sei, welche das Global Footprint Network nicht vorwegnehmen wolle (GFN, 2006).

Betrachtet man nun die rechte Seite der Abbildung 2, kann man die Berechnung der „Total biological capacity“ nachverfolgen. Zuerst wird die gesamte verfügbare bioproduktive Fläche einer Nation identifiziert und den einzelnen Landkategorien zugeordnet. Die zur CO₂-Absorption verfügbare Landfläche wird als vorhandener Waldbestand gerechnet.

Diese bioproduktiven Flächen eines Landes werden mit den so genannten Ertragsfaktoren multipliziert (siehe Tab. 2), wobei bebaute Flächen mit dem Ertragsfaktor von Ernteprodukten und „Fossilenergiefläche“ mit dem Ertragsfaktor der Wälder multipliziert werden. Ertragsfaktoren (Yield factors) drücken aus, um wie viel produktiver eine bestimmte Fläche (z.B. Weidefläche) im Vergleich zum Weltdurchschnitt an Produktivität der gleichen Fläche ist. Ertragsfaktoren werden für jedes Land und jedes Jahr auf Basis internationaler Statistiken – in erster Linie der FAO – berechnet.

Abbildung 2: Struktur der Fußabdrucks- und Biokapazitätsberechnungen



Hinweis: Diese Darstellung beinhaltet keine Sekundärprodukte und keine Kernenergie.

Quelle: Von Stokar et al., 2006b basierend auf GFN (2005).

Tabelle 2: Ertragsfaktoren ausgewählter Länder (2003)

	Primary cropland	Forest	Grazing Land	Ocean Fisheries
World average	1.0	1.0	1.0	1.0
Germany	2.3	3.9	2.2	1.1
Laos	0.8	0.2	2.7	1.0
New Zealand	2.2	2.5	2.5	0.2
Zambia	0.5	0.3	1.5	1.1

Quelle: GFN, 2006a

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass Ernteflächen in Deutschland beispielsweise 2,3 mal so produktiv wie die durchschnittliche globale Erntefläche sind, während Waldflächen in Laos nur 20% der durchschnittlichen globalen Produktivität von Wäldern besitzen.

Der aus dieser Umrechnung resultierende „global vergleichbare“ Ertrag der einzelnen Flächen wird wiederum mit dem Äquivalenzfaktor (siehe Abb. 2) multipliziert, welcher die unterschiedlichen Erträge der einzelnen Landkategorien auf globaler Ebene standardisiert.

Das Ergebnis der Berechnung ist die gesamte national verfügbare Biokapazität in Globalen Hektar. Diese umfasst die Kapazität des Ökosystems, wirtschaftlich nutzbare erneuerbare Ressourcen mit verfügbaren Technologien und unter gegebenen Ressourcenmanagementbedingungen zu produzieren und Abfallstoffe zu absorbieren.

2.1.5. Ökologisches Defizit

Stellt man nun den nationalen Fußabdruck der national verfügbaren Biokapazität gegenüber, lässt sich schätzen, ob das vorhandene Naturkapital ausreicht, um die gegebenen Konsum- und Produktionsweisen aufrechtzuerhalten. Übersteigt der Ökologische Fußabdruck eines Landes seine Biokapazität, spricht man von einem ökologischen Defizit. Das untersuchte Land verbraucht somit mehr natürliche Ressourcen, als es selbst bereitstellen kann. Ein ökologisches Defizit kann auf zwei Weisen zu Stande kommen. Entweder importiert das betroffene Land Biokapazität aus dem Ausland (ökologisches Handelsdefizit) oder es übernutzt seine oder die globalen natürlichen Ressourcen (z.B. durch Überweidung oder CO₂-Emissionen, die nicht im eigenen Land absorbiert werden können und in die Atmosphäre gelangen). Auf globaler Ebene bezeichnet man eine solche Übernutzung als „Overshoot“, also eine Übernutzung der langfristigen Tragfähigkeit (Wackernagel et al., 2005).

Die Methode des Fußabdrucks ist so konzipiert, dass sie im Falle von bestehenden Unsicherheiten den Flächenbedarf unterschätzt (Wackernagel et al., 2005). Aktivitäten, die nicht in die Berechnungen mit einfließen, reichen von der Freisetzung von in der Atmosphäre nicht abbaubaren Schadstoffen, über die Wassernutzung bis hin zum Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen wie Mineralien und Erze (für Details siehe Kapitel 4.1.).

2.2 Zusammenfassung existierender Studien

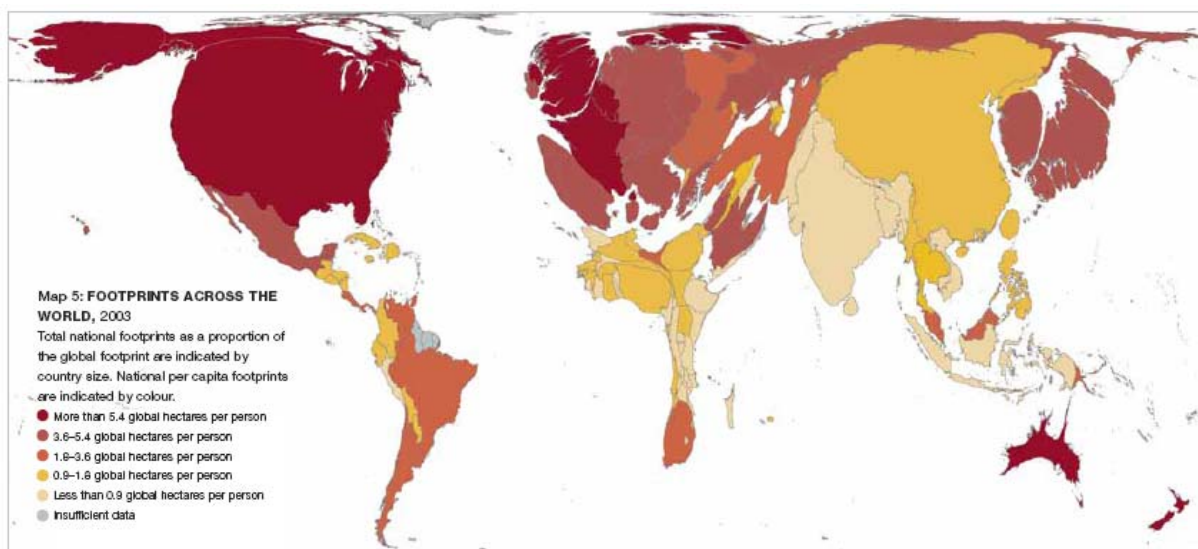
2.2.1. Footprint of Nations und Living Planet Reports

Die 1997 erschienene Studie “Footprint of Nations“ (Wackernagel et al., 1997) verglich den Ökologischen Fußabdruck von 52 Ländern, welche zusammen 80% der Weltbevölkerung beheimateten. Der Bericht stellte somit zum ersten Mal nationale Konsummengen mit Hilfe des Fußabdruckindikators der verfügbaren Biokapazität gegenüber. Die Autoren resümierten, dass die Menschheit über ein Drittel mehr Ressourcen verbraucht, als die Natur bereitstellen kann. Nur in 10 der 52 Länder lag der Fußabdruck pro Kopf unter der weltweit zur Verfügung stehenden Biokapazität von damals 1,7 Hektar.

1998 wurde der erste Living Planet Report (LPR) veröffentlicht, mit dem Ziel, das fortwährende Verschwinden von Natur auf unserem Planeten zu dokumentieren (WWF and World Conservation Monitoring Centre, 1998). Seit dem Jahre 2000 wird neben dem Living Planet Index auch der Ökologische Fußabdruck als Nachhaltigkeitsindikator in diesem Bericht angeführt. In Zusammenarbeit von WWF und seinen Partnerorganisationen sind in den Jahren 2000, 2002, 2004 und 2006 die Ökologischen Fußabdrücke aller Länder der Erde, deren Bevölkerungsanzahl 1 Million übersteigt und für welche Daten verfügbar waren, in den LPR's erschienen. Seit dem Bericht 2004 dient das Global Footprint Network als offizieller Partner des WWF.

2002 wurde erstmals eine Szenarienanalyse künftiger Fußabdrücke erstellt (WWF et al., 2002). Der LPR 2006 berechnete den Fußabdruck in konstanten 2003 Globalen Hektar statt in Globalen Hektar, um Fußabdrücke verschiedener Jahre besser vergleichen zu können. Durch eine graphische Gewichtung der Weltkarte mit den nationalen Fußabdrücken wurde versucht, die Unterschiede durch Verzerrungen darzustellen (siehe Abbildung 3).

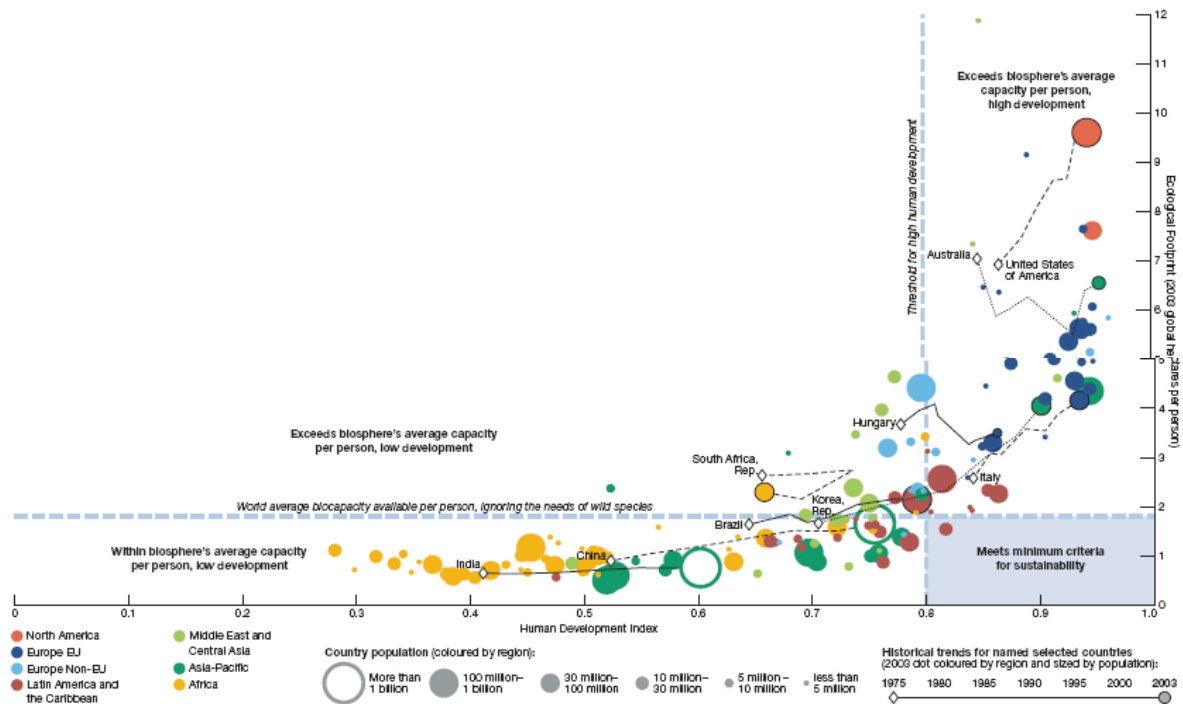
Abbildung 3: Nationale Fußabdrücke als Anteil am globalen Fußabdruck



Quelle: WWF et al., 2006

Auch wurde 2006 der Fußabdruck graphisch mit dem Human Development Index (HDI) gekoppelt; siehe Abbildung 4 (WWF et al., 2006).

Abbildung 4: Ökologischer Fußabdruck und Human Development Index



Quelle: WWF et al., 2006

2005 erschienen zwei regionsspezifische Berichte, Europe 2005: The ecological Footprint (WWF et al., 2005a) und Asia Pacific 2005: The Ecological Footprint and Natural Wealth (WWF et al., 2005b). Der Europabericht stellte erstmals auch die Herkunftsländer von Importen nach Europa dar und lieferte somit eine grafische Darstellung des europäischen ökologischen Handelsdefizits. Der Asien-Pazifikbericht beinhaltet Darstellungen der Biokapazitätsexporte ausgewählter Länder in andere Weltregionen.

Der Ökologische Fußabdruck ist vom Global Footprint Network (GFN) mittlerweile für über 150 Länder von 1961 bis 2003 berechnet worden und veröffentlicht jährlich den State of Art der Fußabdruckberechnungen (GFN, 2006a). Wichtige methodische Verbesserungen seit 2004 umfassen eine vereinfachte Weideberechnung, eine verfeinerte Messung der CO₂-Absorption und Produktivität der Wälder und eine Aufnahme von IEA- und COMTRADE-Datensätzen in die Berechnung. Seit 2005 wurde darüber hinaus die Berechnung der „embodied energy“ von gehandelten Produkten verbessert (GFN, 2006). Für eine Zusammenstellung der Fußabdrücke aller Nationen im Jahr 2002 siehe Annex A1.

2.2.2. Nationale Studien

Neben den Studien des WWF und des GFN sind eine Reihe von Arbeiten in diversen Fachzeitschriften erschienen, die einen nationalen Ökologischen Fußabdruck untersucht haben. Eine repräsentative Auswahl dieser Studien wird im Folgenden angeführt:

Nick et al. (1999) untersuchten sieben verschiedene Nachhaltigkeitsindikatoren (unter ihnen der Ökologische Fußabdruck) und ihre Aussagekraft für Schottland zwischen 1980 und 1993. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass aus der Anwendung der einzelnen Indikatoren sehr unterschiedliche Aussagen über die Nachhaltigkeit Schottlands gezogen werden können und empfahl die Verwendung eines Sets an Indikatoren für die Nachhaltigkeitsforschung.

Van Vuuren und Smeets veröffentlichten Länderstudien für Benin, Bhutan, Costa Rica und die Niederlande für die Jahre 1980, 1987 und 1994. Die Autoren verwendeten „local yields“ für ihre Berechnungen, um die tatsächliche Landnutzung der Länder aufzuzeigen. Es wurde darauf verzichtet, die einzelnen Fußabdruckkategorien zu aggregieren. „Carbon land“ wurde separat ausgewiesen (van Vuuren and Smeets, 2000).

Haberl et al. (2001) veröffentlichten eine Studie, in der der Fußabdruck Österreichs von 1926 bis 1995 auf drei verschiedene Arten berechnet wurde; unter der Annahme konstanter globaler Durchschnittserträge des Jahres 1995, variabler globaler Durchschnittserträge für jedes Jahr und unter der Annahme variabler lokaler Erträge für jedes Jahr. Die Autoren zogen die Schlussfolgerung, dass verschiedene Annahmen zu den Erträgen die Ergebnisse der Fußabdruckberechnung um einen Faktor 2 (oder mehr) beeinflussen können (siehe dazu Kapitel 4.1.).

Wackernagel und Kollegen berechneten den Ökologischen Fußabdruck von Österreich, den Philippinen und Südkorea für die Jahre 1961-1999. Die Berechnung in Globalen Hektar wird auch in dieser Studie einem „actual land-use“-Ansatz gegenübergestellt. Die Autoren stellten fest, dass die beiden Ansätze zwar immer noch verschiedene Fragen beantworten und verschiedene Ergebnisse liefern, sich aber die Ergebnisse bezüglich der zeitlichen Trends im Rahmen der vorangegangenen Methodenweiterentwicklung einander angenähert hätten (Wackernagel et al., 2004a).

Bicknell et al. (1998) wendeten erstmals das Konzept der Input-Output-Analyse an, um den nationalen Fußabdruck Neuseelands abzuschätzen. McDonald und Patterson erweiterten diese Methode auf 16 unabhängige Regionen innerhalb Neuseelands (McDonald and Patterson, 2004). Beide Studien verwendeten lokale Erträge für Weiden, kultivierbares Land und Wälder und verzichteten auf die Verwendung von Äquivalenzfaktoren.

Lenzen und Murray (2001) präsentierten eine Studie des nationalen Fußabdrucks Australiens, welcher ebenfalls auf einer Input-Output-Analyse beruht. Sie berechneten den Konsum auf Basis tatsächlicher regionaler Landnutzungs- und Emissionsdaten, welche mit Hilfe von Gewichtungsfaktoren gemäß deren Landbeeinträchtigung („land disturbance“) bewertet wurden. Auch demographische Faktoren wurden mitberücksichtigt.

2005 erschien ein sehr ausführlicher Bericht über die nachhaltige Entwicklung von Wales und deren Implikationen für politische Entscheidungsträger. Die Studie kombinierte Materialflussanalysen, Ökologische Fußabdrücke und Zukunftsszenarien, um ein möglichst umfassendes Bild zeichnen zu können (Barrett et al., 2005).

Auch Wiedmann et al. (2006b) verwendeten in ihrer Studie Input-Output-Analysen, um den aggregierten nationalen Fußabdruck den einzelnen Konsumkategorien zuzuordnen. Die angewendete Methode stellte auch einen Schritt in Richtung Standardisierung des Fußabdrucks dar, da sie auf andere Länder übertragbar ist.

In einer 2005 erschienenen Studie modellierten Van Vuuren und Bouwman mit Hilfe des IMAGE 2.2 Modellierungstools Fußabdruckentwicklungen für 17 Weltregionen für die Jahre 1995-2050. Auf der Grundlage historischer Daten von 1975-1995 wurden ein „Business as

usual“, ein „market forces“, ein „security focus“ und ein „sustainability focus“-Szenario sowohl in globalen als auch in lokalen Erträgen ermittelt (van Vuuren and Bouwman, 2005).

McDonald et al. (2006) berechneten den nationalen Fußabdruck Neuseelands des Jahres 2001 für verschiedene Altersklassen und rechneten diesen auf das Jahr 2051 hoch, um der fortschreitenden Altersverschiebung der Gesellschaft auch in der Fußabdruckberechnung Rechnung zu tragen.

2.3 Der Ökologische Fußabdruck von Deutschland

Die jüngsten Daten zum Ökologischen Fußabdrucks von Deutschland wurden vom Global Footprint Network für das Jahr 2003 berechnet (GFN, 2006b). Bei einer Bevölkerung von knapp über 82 Millionen Menschen beläuft sich der Fußabdruck des Landes auf gute 375 Millionen Globale Hektar, was zu einem Fußabdruck von 4,55 globalen Hektar pro Kopf führt. Der weltweite Durchschnitt lag bei 2,19 Globalen Hektar. Würden alle Länder der Erde soviel natürliche Ressourcen für sich beanspruchen wie Deutschland, würde die Menschheit 2,5 Planeten benötigen, um ihre Bedürfnisse befriedigen zu können.

Der 375 Millionen Globalen Hektar umfassenden Nachfrage steht in Deutschland ein Angebot von knapp 143 Millionen Globalen Hektar in Form verfügbarer Biokapazität gegenüber. Im Vergleich mit den weltweit pro Kopf zu Verfügung stehenden 1,82 globalen Hektar, liegt Deutschland mit 1,74 somit unter dem Weltdurchschnitt. Die nationale Biokapazität reicht bei weitem nicht aus, um den nationalen Konsum zu befriedigen. Das ökologische Defizit von Deutschland – als die Differenz der beiden Werte – beläuft sich im Jahre 2003 auf 232 Millionen Globale Hektar.

Die Zusammensetzung des Fußabdrucks ist in Tabelle 3 aufgelistet. Es fällt auf, dass der Bedarf an Energiefläche bzw. CO₂-Absorptionsfläche in Deutschland enorm hoch ist. Mit über 235 Millionen Globalen Hektar macht dieser Wert 63% des gesamten Fußabdrucks aus. Es wird also ersichtlich, dass der Gesamtfußabdruck zu einem erheblichen Maße durch den Bereich Energie/CO₂ beeinflusst wird. Diese Tatsache muss mittels einer disaggregierten Darstellung der Gesamtzahl kommuniziert werden, um eine korrekte Interpretation des Indikators zu gewährleisten.

Der Bedarf an Ernteprodukten beansprucht 16%, der Bedarf an Forstprodukten 11% des gesamten Fußabdrucks. Der Flächenbedarf für Weiden, Fischereiprodukte und bebautes Gelände beträgt zusammen 11%.

Nur die nationale Biokapazität des Waldes übersteigt die Nachfrage nach Forstprodukten. Alle weiteren Kategorien besitzen zu wenig Kapazität, um der jeweiligen Nachfrage gerecht zu werden.

Tabelle 3: Der ökologische Fußabdruck Deutschlands in globalen Hektar, 2003

Ökologischer Fußabdruck		in %	in %	Biokapazität	
Weidebedarf	14.788	4	0	4.750	Weidefläche
Fisch	9.567	3	0	2.336	Fischereigründe
Forstprodukte	39.640	11	48	68.424	Waldfläche
Ernteprodukte	60.317	16	38	54.331	Erntefläche
Bebautes Land	14.049	4	10	13.786	Bebautes Land
CO ₂ -Absorptionsfläche	235.642	63	0		
Gesamter Fußabdruck	375.175	100	100	143.627	Verfügbare Biokapazität

Quelle: GFN, 2006b

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland mit diesen Fußabdruckwerten an 23. Stelle aller verfügbaren (152) Länderstudien für das Jahr 2003, zwischen Isreal (Platz 22) und Litauen (Platz 24). Den größten Fußabdruck (Platz 1) besitzen die Vereinigten Arabischen Emirate mit 11,9 Hektar pro Kopf, den kleinsten Afghanistan mit 0,1 Hektar pro Kopf (WWF et al., 2006).

Die Zusammenstellung der Ergebnisse aus den German Footprint Accounts des Global Footprint Network ist im Annex A2 eingefügt.

2.4 Die Stärken des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“

Der Ökologische Fußabdruck ist weltweit einer der erfolgreichsten, wenn nicht der erfolgreichste Indikator zur Vermittlung des Konzeptes der ökologischen Nachhaltigkeit und der physischen Begrenztheit des Planeten Erde. Bedeutende Magazine, wie zum Beispiel *National Geographic*, *Time Magazine* und *bild der wissenschaft* genauso wie Zeitungen (zum Beispiel *Le Monde*, *The Times* und die *Frankfurter Allgemeine*) publizierten mehrmals ausführliche Artikel über den Ökologischen Fußabdruck. Der jüngste Living Planet Report, der im Oktober 2006 veröffentlicht wurde, brachte auf Google nicht weniger als 700 Einträge in den vielfältigsten Sprachen weltweit.

Die Methode zur Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks wird von einer Vielzahl von Institutionen zur Evaluierung von Umweltauswirkungen angewendet. Zu den Anwendern zählen Unternehmen genauso wie städtische und regionale Planungsinstitutionen sowie Umwelt- und Entwicklungsorganisationen auf allen Kontinenten. Der WWF etwa startete kürzlich ein Programm mit dem Titel „One Planet Business“, in dem gemeinsam mit Großunternehmen verschiedener Wirtschaftsbereiche (wie der Automobil- und Lebensmittelindustrie) Strategien ausgearbeitet werden, wie der Fußabdruck ihrer Produkte reduziert werden kann (WWF, 2006). Auf regionaler Ebene wenden etwa London sowie mehrere englische Regionen den Fußabdruck als einen zentralen Indikator zur Bewertung von Erfolg oder Misserfolg regionaler Nachhaltigkeitspolitik an (siehe zum Beispiel, Barrett et al., 2006; Lewan and Simmons, 2001).

Die anschauliche Darstellung komplexer Zusammenhänge

Ein zentraler Vorteil des Indikators Ökologischer Fußabdruck gegenüber anderen Umweltindikatoren und Indikatorensystemen liegt darin, dass er verschiedene Umweltdimensionen in eine einzige aggregierte Größe aufrechnet. Er stellt somit einen Indikator dar, der so unterschiedliche Aspekte wie den Verbrauch von erneuerbaren Rohstoffen, die Emissionen von CO₂ als klimawirksames Gas sowie die (zunehmende) Landversiegelung in sich integriert.² Dies bringt vor allem für nicht-wissenschaftliche Anwender große Vorteile, da hochkomplexe Zusammenhänge der Wechselwirkungen zwischen menschlichem Konsum und der Belastung der Ökosysteme in einfacher und verständlicher Form dargestellt und kommuniziert werden können (Rees, 2000).

Durch die Berechnung der verfügbaren biologischen Kapazität auf der Erde ist es dem Fußabdruck darüber hinaus möglich, den menschlichen Umweltverbrauch (die „Nachfrageseite“) mit der langfristig verfügbaren Kapazität der Ökosysteme (die „Angebotsseite“) direkt zu vergleichen. Dadurch kann der Fußabdruck sichtbar machen, ob das derzeitige Konsumniveau unter, auf oder bereits über dem langfristig tragbaren Niveau

² Dass dies auch mit einer Reihe methodischer Schwierigkeiten verbunden ist, wird in Kapitel 6 im Detail diskutiert.

liegt. Die Berechnung dieser Tragfähigkeitsgrenze erlaubt es auch, ein konkretes und anschauliches Ziel für die Reduktion des menschlichen Ressourcenverbrauchs zu definieren bzw. zu berechnen, wie viele Planeten notwendig wären, wenn alle Menschen der Erde ein ähnlich hohes Konsumniveau wie die Bevölkerung der USA oder Europas hätten. Dadurch wird es möglich, die absolute Notwendigkeit der Transformation menschlicher Produktions- und Konsumaktivitäten hin zu einer ressourcenschonenden Form zu veranschaulichen, die es Menschen in Entwicklungsländern ermöglichen muss, ihren Lebensstandard deutlich zu erhöhen, ohne dass es zu einer (weitreichenden) Überschreitung der Tragfähigkeitsgrenze des Planeten kommt.

Diese Punkte sind ein entscheidender Vorteil des Fußabdruckkonzeptes gegenüber anderen Konzepten einer nachhaltigen Ressourcennutzung, wie etwa dem Faktor 4/10 Konzept, welches gleichfalls die Notwendigkeit einer drastischen Reduktion des Ressourcenverbrauchs vor allem in den reichen Industrienationen fordert, jedoch keine „Grenzwerte“ für eine nachhaltige Ressourcennutzung definiert bzw. definieren kann. Das Problem der Definition von nachhaltigen Niveaus der Nutzung nicht-erneuerbarer Ressourcen, mit dem sich etwa das Faktor 4/10 Konzept konfrontiert sieht, stellt sich in dieser Form für den Ökologischen Fußabdruck nicht, da er explizit nur auf erneuerbare Ressourcen fokussiert.

Umweltbildung und Umweltkommunikation

Der Ökologische Fußabdruck erfüllt (zumindest bislang) vor allem Bildungs- und Kommunikationszwecke. Wie eine Studie von Barrett et al. (2004) feststellt, betonen 100% aller kommunalen Verwaltungen in England, welche den Fußabdruck als Indikator in ihrer Gemeinde und Region anwendeten, dass die Erhöhung der öffentlichen Aufmerksamkeit für Themen im Zusammenhang mit nachhaltigem Konsum zentrales Ziel der Anwendung war. Als zweitwichtigste Kategorie gaben die Befragten an, Bildungsmaterial aus den Ergebnissen produzieren zu wollen. Politikanalyse und -evaluation war in diesen lokalen oder regionalen Anwendungen nur in weit weniger Fällen das erklärte Hauptziel.

Der Ökologische Fußabdruck ist wohl auch jener Indikator, welcher am häufigsten angeboten wird, wenn es um die Berechnung der Umweltfolgen des persönlichen Lebensstils geht. Eine Vielzahl von Institutionen in unterschiedlichsten Ländern publizierte im Internet Fragebögen zur Berechnung des persönlichen Ökologischen Fußabdrucks, darunter:

- Redefining Progress (myfootprint.org), USA;
- Projektagentur „Zukunftsfähiges Berlin“, Deutschland;
- WWF Schweiz;
- Greenpeace CEE, Österreich;
- Sustainable Footprint, Niederlande;
- Environmental Protection Agency Victoria, Australia;
- Best Foot Forward, Großbritannien.

Diese Fragebögen sind ein wichtiges Werkzeug, um Laien Themen wie ökologische Nachhaltigkeit und nachhaltigen Konsum näher zu bringen und schwierige globale Zusammenhänge mit konkreten alltäglichen Kauf- und Konsumententscheidungen zu verbinden (Barrett et al., 2004).

Vertikale Integration

Eine wichtige methodische Stärke des Fußabdruckkonzeptes ist die Tatsache, dass der Fußabdruck konsistent auf verschiedenen Ebenen gesellschaftlicher Aktivitäten berechnet und verglichen werden kann. Fußabdruckberechnungen existieren auf der Ebene von Einzelprodukten und Dienstleistungen, auf der Ebene von Organisationen (Unternehmen, etc.), auf der Ebene von Städten und Regionen sowie auf nationaler und internationaler Ebene. Diese können vertikal integriert werden: Produkte werden in Unternehmen produziert, Unternehmen formen einen Wirtschaftssektor und die Volkswirtschaft setzt sich wiederum aus den verschiedenen Wirtschaftsbranchen zusammen.

Weltweite Ländervergleiche im Living Planet Report

Der vom Global Footprint Network gemeinsam mit dem WWF und anderen Organisationen zweijährlich publizierte „Living Planet Report“ (siehe Literaturüberblick weiter oben) ist bislang das einzige Standardwerk, welches das Thema Ressourcenverbrauch auf weltweiter Ebene in umfassender Form dokumentiert. Durch die methodisch harmonisierte Berechnung der National Footprint Accounts für alle Länder der Erde durch das Global Footprint Network wird es möglich, den Fußabdruck für alle Weltregionen in konsistent vergleichbarer Methode zu analysieren. Dies bringt signifikante Vorteile in der Kommunikation von Themen wie globaler Ressourcenverteilung und -gerechtigkeit mit sich. Auf den Fußabdruck wird daher auch in anderen Publikationen zugegriffen, wenn weltweite Entwicklungen analysiert werden (zum Beispiel Wuppertal Institut, 2005), da weltweit harmonisierte Daten für andere Ressourcenindikatoren – etwa zum Materialverbrauch für alle Länder der Erde – bislang nicht verfügbar sind.³

Das „Global Footprint Network“

Das „Global Footprint Network“ (GFN) ist eine Non-Profit Organisation, die es sich zum Ziel gesetzt hat, die wissenschaftliche Methode und praktische Anwendung des Ökologischen Fußabdrucks zu verbessern. Das GFN umfasst mehr als 70 Partnerorganisationen auf sechs Kontinenten. Seit seiner Gründung im Jahre 2003 ist das GFN seinem Ziel – der Verbesserung des Fußabdruckindikators – bereits erheblich näher gekommen.

22 Länder arbeiten mittlerweile mit dem GFN zusammen und wollen den Ökologischen Fußabdruck gegebenenfalls übernehmen; darunter Australien, Brasilien, Kanada, China, Finnland, Frankreich, Deutschland, Italien, Mexiko, Russland, Südafrika, die Schweiz und Großbritannien.

Viele der weltgrößten Umweltorganisationen und Wahlkreise benutzen den Ökologischen Fußabdruck bereits, um globale und lokale Nachhaltigkeit voranzutreiben. Darunter befinden sich die *EPA Victoria* (Australien), die *European Environment Agency* (EEA), das finnische Umweltministerium, das Land Wales, und große NGOs wie *NRG4SD* (mit 50 regionalen Regierungsbeteiligten), *ICLEI* (mit 650 lokalen Regierungsbeteiligten weltweit), und *WWF* (mit 5 Millionen Unterstützerinnen weltweit).

Führende Wissenschaftler/innen und Politiker/innen unterstützen die Arbeit des GFN. Neben dem 23 Mitglieder umfassenden Beratungsgremium, welches vier ehemalige Minister und Professor Wangari Maathai, die Gewinnerin des Friedensnobelpreises 2004 umfasst, zählen

³ Bislang existieren nur weltweite Daten zur Ressourcenextraktion, die jedoch Importe und Exporte von Materialien nicht mit einbeziehen (siehe www.materialflows.net für die Analyse von globalen Trends und Download der Extraktionsdaten).

auch José Manuel Barroso, Präsident der Europäischen Kommission, welcher ein Vorwort für den Bericht "Europe 2005: The Ecological Footprint" geschrieben hat und Catherine Day, Generalsekretärin der Europäischen Kommission und ehemalige Generaldirektorin der Generaldirektion Umwelt, zu den Unterstützer/innen des Ökologischen Fußabdrucks und des GFN.

3 Datenanalyse

3.1 Analyse und Bewertung der German National Footprint Accounts

In diesem Kapitel wird die Struktur der Ecological Footprint Accounts und deren Sensitivität beschrieben. Die Entwicklung der Footprint Standards und bekannte Probleme mit den Fußabdruckberechnungen werden erörtert. Es wird ein Beispiel für die Berechnung von Einzelwerten in den Accounts gegeben sowie die Anwendung der Monte-Carlo-Methode als Sensitivitätsanalyse behandelt.

3.1.1. Grundlagen der National Footprint Accounts

National Footprint Accounts bilden ein umfassendes ökologisches Berechnungssystem, welches die Ökologischen Fußabdrücke und die Biokapazität der gesamten Welt und 150 einzelner Länder von 1961 bis in die Gegenwart umfasst. National Footprint Accounts werden jährlich auf Grundlage der aktuellsten verfügbaren Datenbestände aktualisiert. Diese liegen meist um etwa drei Jahre zurück.

Das System ist seit seinen ersten Berechnungen (vor etwa 10 Jahren) erheblich gewachsen und die Ergebnisse werden mittlerweile von Lehrenden und Praktizierenden auf der ganzen Welt verwendet.

Footprint Standards

Der Zweck der Standardisierung des Ökologischen Fußabdrucks (siehe auch Kapitel 2), welche im Juni 2006 eingeführt wurde, ist die Gewährleistung von untereinander vergleichbaren, qualitativ hochwertigen Ergebnissen. Die Standardisierung trachtet danach, Analysen robuster, transparenter und verlässlicher zu gestalten, um Ergebnisse zu erzielen, welche von Entscheidungsträgern verschiedener Bereiche umgesetzt werden können.

Ecological Footprint Standards umfassen zwei Bereiche:

1. *Application Standards*, welche Anforderungen an die Berechnungen und deren Begrenzungen definieren, um Konsistenz und Nachvollziehbarkeit zu ermöglichen und Vergleichbarkeit zwischen einzelnen Studien zu gewährleisten.
2. *Communication Standards*, welche Anforderungen an die Kommunikation des Fußabdrucks und dessen Ergebnisse definieren, um verfälschte Darstellungen und Missinterpretationen der Berechnungen zu verhindern.

Struktur der Berechnungen

Ökologische Fußabdruckberechnungen bestehen aus folgenden Teilen (für Details zu den einzelnen Punkten siehe Kapitel 2):

- 1). Ernteprodukte;
- 2). Tierische Produkte;
- 3). Fischerei;
- 4). Forstprodukte;
- 5). Energieverbrauch;
- 6). Bebautes Gelände;

- 7). Landnutzung;
- 8). Ertragsfaktoren;
- 9). Äquivalenzfaktoren;
- 10). Ergebnisse;
- 11). Referenzen;
- 12). Fußabdrucks-Intensitäten;
- 13). Sonstiges;
- 14). Details zum Handel.

Datenquellen

Folgende Datenquellen werden für die *National Footprint Accounts* hauptsächlich herangezogen (siehe dazu auch Kapitel 2 und Kapitel 3.2).

- 1) *Food and Agriculture Organisation of the United Nations* (UN FAO)
- 2) *Statistical Office of the European Communities* (EUROSTAT)
- 3) *European Environment Agency* (EEA)
- 4) *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)
- 5) *Stockholm Environment Institute* (SEI)
- 6) *United Nations Commodity Trade Statistics Database* (COMTRADE)
- 7) *World Resources Institute* (WRI)

3.1.2. Die nationale Berechnung am Beispiel von Weizen

Das folgende Beispiel illustriert die „*top down*“-Berechnung der *National Footprint Accounts*, die in der „compound“ Methode auf nationaler Ebene zum Einsatz kommt. Als Beispiel wird hier Weizen ausgewählt. Die Berechnungsschritte starten auf der Ebene des Gesamtfußabdrucks und schreiten dann schrittweise in den Subkategorien bis hin zur Einzelkategorie Weizen. Es wird dadurch die Komplexität der Berechnungen sichtbar, die hinter der Ermittlung des Fußabdrucks jedes Produktes steht.

Der gesamte Ökologische Fußabdruck Deutschlands wird gemäß folgender Formel berechnet (1).

$$EF = \frac{Pop}{1000} * \sum_{i=1}^I EF(i) \quad (1)$$

Wobei *Pop* die Bevölkerungsanzahl (*population*) Deutschlands darstellt und *EF_Comp(i)* die Komponenten des Ökologischen Fußabdrucks.

Die Menge *i* setzt sich zusammen aus:

- 1) Erntefläche (*Cropland*);
- 2) Weidefläche (*Grazing Area*);
- 3) Fischereigründe (*Marine*);
- 4) Bauholz (*Timber*);
- 5) Brennholz (*Wood Fuel*);
- 6) Fossiler Brennstoff (*Fossil Fuels*);
- 7) Nuklearenergie (*Nuclear*);
- 8) Bebautes Gelände (*Build-up Area*).

Betrachtet man als Beispiel den Ökologischen Fußabdruck für Ernteflächen (Cropland), erhält man aus (1):

$$EF(\text{Cropland}) = \sum_k^K EF(\text{Cropland}, k), \quad (2)$$

Wobei die Menge k aus:

1. Haupterntefläche (*Primary Cropland*) und
2. Nicht abgeernteter Fläche (*Unharvested Cropland*)

besteht.

Die Haupterntefläche (Cropland, Primary) besteht wiederum aus mehreren Unterkategorien:

$$EF(\text{Cropland}, \text{Primary}) = \sum_f^F EF(\text{Cropland}, \text{Primary}, f), \quad (3)$$

Wobei die Menge f aus:

1. Produktion;
2. Importen;
3. Bestandsveränderungen und
4. Exporten

besteht.

Die Produktion wiederum setzt sich wie folgt zusammen:

$$EF(\text{Cropland}, \text{Primary}, \text{Production}) = \sum_c^C EF(\text{Cropland}, \text{Primary}, \text{Production}, c) \quad (4)$$

Wobei die Menge c aus 57 verschiedenen Ernteprodukten besteht.

Folglich lässt sich der Ökologische Fußabdruck für Weizen, als eines dieser Ernteprodukte, wie folgt berechnen:

$$EF(\text{Cropland}, \text{Primary}, \text{Production}, \text{Wheat}) = \frac{EFF_Prod \& * MCF * YF * EqF}{EF_Yield * Pop}, \quad (5)$$

Wobei

EFF_Prod = Produktion - Saatgut (Tatsächliche Produktion; Datenquelle: FAO); = effektive Produktion;

$$MCF = \left\{ \frac{1}{\text{National_Area_of_Wheat}} \right\} \frac{\text{National_Arable_Cropland} * 1000}{}$$

MCF= Anbaufaktor (*Multiple cropping factor*), liegt zwischen dem Wert “1” und dem Verhältnis der Erntefläche von Weizen zur gesamten anbaufähigen Erntefläche.

$$YF = \frac{\text{World_Area_Crop}}{\text{National_Area_Crop}} \quad (\text{Ertragsfaktor oder Yield factor});$$

$$EqF = \frac{GAEZ_Index_Primary_Cropland}{GAEZ_Average} \text{ (Äquivalenzfaktor);}$$

$$EF_Yield = World_Yield_Wheat * Natinal_Seed_Factor,$$

Wobei,

$$World_Yield_Wheat = \frac{World_Yield_Wheat_Production}{World_Yield_Wheat_Cropland} \text{ und}$$

$$National_Seed_Factor =$$

$$\frac{(National_Seed_Wheat_Production - National_Seed_Wheat_Seed)}{National_Seed_Wheat_Production}$$

Das hier gezeigte Beispiel beschreibt den Rechenvorgang innerhalb der National Accounts und verdeutlicht dessen Komplexität. Es wird auch ersichtlich, dass Variationen in vielen der Primärvariablen das Endergebnis, also den gesamten Wert des Ökologischen Fußabdrucks, nur in relativ geringem Ausmaß beeinflussen.

3.1.3. Datenprobleme in den Ecological Footprint Accounts

Obwohl es eine Reihe von Kritiken am Konzept des Ökologischen Fußabdrucks gibt (siehe Kapitel 4.1), haben bislang nur sehr wenige Studien eine detaillierte Analyse der den Berechnungen zu Grunde liegenden Datenblätter (*spreadsheets*) vorgenommen. Die umfassendste Übersicht über Schwächen des Fußabdruckkonzeptes hinsichtlich der Datenqualität wird von GFN selbst erarbeitet. Probleme, die während der Anwendung seitens der Partnerorganisationen auftauchen, unter anderem Fragen zu Teilbereichen, welche der Fußabdruck nicht mitberücksichtigt, werden vom GFN gesammelt und bereitgestellt.

Das *National Accounts Committee* ist beauftragt, auftauchende Fragestellungen zu bewerten und eine weitere Vorgehensweise, inklusive eines „Prioritätenzeitplanes“ vorzuschlagen. Diese Arbeit ist seitens des GFN noch nicht abgeschlossen, ein genauer Ablaufplan ist daher noch nicht verfügbar.

Im Folgenden werden die Hauptthemen, die mit den Fußabdruckberechnungen in Zusammenhang stehen, vor allem in Bezug auf Deutschland, ausgeführt. Konzeptuelle Kritik der Berechnungen und zukünftige methodische Weiterentwicklungen werden nicht angeführt (für Details siehe Kapitel 4.1), außer wenn sie die Richtigkeit der angeführten Methode betreffen. Hauptaugenmerk wird insbesondere auf technische Fragen gelegt.

Allgemeine Themen

Verlässlichkeit internationaler Datensätze

Wie schon an anderer Stelle beschrieben, verwenden die National Footprint Accounts große internationale Datensätze (z.B. von FAO und UNO). Diese werden wiederum von nationalen Regierungen bezogen. Dadurch sind Übertragungsfehler möglich.

In einer Studie für Irland (Curry et al., in press) wurden einige Beispiele für diese Fehler gefunden:

- Exportmengen, die in Litern angegeben wurden (im Gegensatz zu den sonst üblichen Tonnen) wurden in den Comtrade-Daten, die von der UNO stammten, weggelassen.
- Bei der Umrechnung der nationalen Daten (SITC Rev.1) in das Klassifikationssystem der Comtrade (SITC Rev.3) ergaben sich Zuordnungsfehler.

Es gibt auch viele Einzelbeispiele von Fehlern in den FAO-Daten. Diese wurden dort augenscheinlich, wo es Unterschiede zwischen den nationalen und den internationalen Berichten gab. Beispielsweise gab es Diskussionen zwischen Best Foot Forward und der FAO über die berichteten Daten zur Rinderherden in England.

Transparenz und Dokumentation

Die National Footprint Accounts sind schlecht dokumentiert und die Datenblätter (spreadsheets) unnötig kompliziert. Das Global Footprint Network ist sich dessen bewusst und plant, sobald die entsprechenden Geldmittel zur Verfügung stehen, die Qualität und Genauigkeit der Dokumentation zu verbessern und so eine höhere Transparenz in den Berechnungen zu erreichen (konkrete Maßnahmen werden in Kapitel 5.2.1 vorgestellt).

Qualitätskontrolle

Die nationalen Berichte von 150 Ländern sind notwendigerweise automatisiert; sie benutzen automatischen Datenimport aus den verfügbaren internationalen Datensätzen. Wenn Annahmen getroffen werden mussten, sind diese meist global abgeleitet. Die genaue Überprüfung der Berichte der einzelnen Länder wäre ein umfangreiches Unterfangen, das weit über die Möglichkeiten des Global Footprint Networks hinausgeht.

Daher wurde vorgeschlagen, dass die einzelnen nationalen Berichte von Organisationen des jeweiligen Landes, die mit dem GFN zusammenarbeiten, überprüft werden sollen, um auf diese Weise Fehler in den zugrunde liegenden Daten zu finden bzw. Daten und Annahmen auf Grund von neu gewonnenen, genaueren Erkenntnissen zu verfeinern.

Dieses Kontrollsystem würde genauere Berichte hervorbringen, deren Resultate als robuster angesehen werden könnten.

Sensitivitätsanalyse

Unserem Wissen nach wurde bisher keine formale Sensitivitätsanalyse der Berichte durchgeführt, da die zugrunde liegenden Daten keine Konfidenzintervalle beinhalten. Idealerweise sollten die deutschen Berichte einer Sensitivitätsanalyse unterzogen werden. Die ersten vorsichtigen Schritte in diese Richtung sind in diesem Dokument erklärt (Monte Carlo-Simulation).

Ernteprodukte

Nicht berücksichtigte Produkte

Die Berechnung der Ernteprodukte verwendet die deutschen FAO-Daten (*food balance sheet*) in großem Umfang zur Schätzung des Nahrungsmittelverbrauchs der Einwohner und reagiert deshalb empfindlich auf Fehler bei Produktion (in Tonnen), Anbaufläche (nach Ernteprodukt) und Erträgen (in t/ha). Einige Ernteprodukte werden auch aufgrund von Doppelzählung oder unzureichendem Datenmaterial nicht integriert. Die folgenden könnten in Deutschland von Bedeutung sein:

- Honig;
- Harte Fasern (*Hard fibres*) und andere;
- Hopfen, Pfefferminze und andere.

In Futtermittel enthaltene Energie (embodied energy)

Die geschätzte Energie, die in Futtermitteln enthalten ist basiert auf den „kcal pro Kopf pro Tag“-Zahlen für jedes Produkt, das von der FAO behandelt wird. Angenommen wird, dass Nahrung den gleichen Brennwert hat, wenn sie von Menschen oder von Tieren verzehrt wird. Diese Annahme ist ungetestet. Noch dazu fehlen einige Brennwerte; die Lücken werden mit Daten aus den USA gefüllt. Von Vorteil wäre ein Vergleich mit bestehenden deutschen Daten über den Brennwert verschiedener Futtermittel.

Erntefläche, auf der verschiedene Produkte angebaut werden

Es gibt globale Annahmen über die Ernteprodukte, die auf primären und marginalen Anbauflächen angebaut werden, die für Deutschland noch bestätigt werden müssen.

Tierprodukte

„Nicht zutreffende“ Daten

Auch dieser Abschnitt verwendet die deutschen FAO-Daten in großem Umfang und ist daher empfindlich für Fehler in nationalen Produktionstonnagen und Futtertonnagen. Einige Daten werden vom Global Footprint Network als „nicht zutreffend“ für Deutschland betrachtet; dies muss noch im Detail überprüft werden.

Fußabdruck von Milchprodukten

Es gibt einen bekannten Fehler (*bug*) in der Berechnung des Fußabdrucks von Milchprodukten. Die benutzte Formel gleicht die verschiedenen Milchprodukte nicht bezüglich ihrer relativen Nährwerte an. Die Korrektur dieses Fehlers und die Verwendung deutscher Daten würde die Genauigkeit des deutschen Fußabdrucks erhöhen.

Fischöl

Aufgrund von Problemen mit der Berechnung des Fußabdrucks von Fischöl wurde es von den Fußabdruckberechnungen ausgeschlossen. Dieser Fehler ist bekannt.

Tierfutter: Menge und Energiegehalt

Die Berechnungen verwenden durchschnittliche Annahmen über die Menge von Futtermitteln und ihren Energiegehalt, um den Fußabdruck von Tierprodukten aufzuschlüsseln. Im Fall von Deutschland könnten diese durchschnittlichen Annahmen verbessert werden, da die Nachfrage nach Futter größer zu sein scheint als das Angebot.

Weideland

Bei der Abschätzung der Produktivität von Weideland wird ein „Begrenzungsfaktor“ (capping factor) angewandt. Diese Annahme sollte für Deutschland getestet werden.

Fischerei

Fischereierträge

Aktuelle globale Fischereierträge beruhen auf Schätzungen der gesamt verfügbaren Nettoprimärproduktion (NPP) und der maximal nachhaltigen Ernterate für globale Fischereiaktivitäten. Diese Annahmen sollten überprüft und für Deutschland ggf. umgerechnet werden.

Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit der NPP nicht immer der limitierende Faktor, da auch die Qualität des existierenden Fischbestandes und Reproduktionsdynamiken die Regenerationsrate mit beeinflussen. Auch diese Annahmen sollten in die Berechnung mit einfließen.

Küstenarme (Coastal Estuaries)

Küstenarme und Feuchtgebiete (wetlands) sollten idealerweise ebenfalls in die Berechnung einfließen.

Fischmehl

Es existiert ein bekannter Fehler (bug) betreffend der Berechnung von Fischmehl. Idealerweise sollten die globalen Annahmen für Deutschland verifiziert werden.

Exclusive Economic Zone

Es scheint ein Fehler in den Daten bezüglich der Größe der exklusiv ökonomischen Zone und dem Kontinentalsockel (Continental Shelf), welcher sich in Deutschland befindet, auf. Letztere sind größer als erstere. Auf die Fußabdruckberechnungen hat dies keine Auswirkung.

Nachhaltige Erträge

Der Faktor, welcher für nachhaltige Fischerträge verwendet wird, muss für Deutschland abgeändert werden, um nationale Bedingungen widerzuspiegeln.

Forstprodukte

Forsterträge

Sowohl in finnischen als auch in französischen National Accounts wurden Ungereimtheiten zwischen national berechneten und international verfügbaren Daten für Forsterträge festgestellt.

Vor allem der Verlustfaktor, also die Menge an Holz, welches durch Schädlingsbefall, Windfall, Feuer oder ähnliches verloren gegangen ist, muss überprüft werden. Diese Überprüfung könnte den tatsächlichen Ertrag signifikant beeinflussen.

Energieverbrauch

Nuklearenergie

Aktuelle Berechnungen unterscheiden nicht zwischen nuklearer und Fossilenergie. Die Forschung auf diesem Gebiet läuft und Ergebnisse sollten in den nationalen Fußabdruck Deutschlands miteinbezogen werden.

Kohlenstoffabsorption (Carbon Sequestration)

Die Nachfrage nach Biokapazität, welche zur Absorption von Kohlendioxid benötigt wird, wird als Waldfläche berechnet, welche die Emissionen absorbieren könnte. Diese Annahme ist sehr „global“, da CO₂ ein global wirksames Treibhausgas ist. In den Berechnungen des nationalen Fußabdrucks für Deutschland könnte es alternativ dazu interessant sein, ein Biomasseäquivalent zu schätzen.

Schwankungen in den Datenquellen

Die CO₂-Emissionen Deutschlands werden unterschiedlich beziffert. 789,24 Mt (Quelle: CDIAC) und 854,29 Mt (Quelle: IEA) pro Jahr. Die Berechnungen für Deutschland beinhalten beide Zahlen, bevorzugen aber die Angabe der IEA. Die Angaben sollten anhand nationaler Quellen überprüft werden.

„Hydro“-Land

Die Berechnungen inkludieren eine globale Schätzung der Landbeanspruchung von Wasserkraft. Diese Angaben sollten auch mit deutschen Daten abgeglichen werden.

Bebautes Land und Landnutzung

Abschätzung des bebauten Landes über Ernteflächen

Bebautes Land wird momentan als Erntefläche mitgerechnet (siehe dazu auch Kapitel 2). Die globale Annahme, dass Infrastruktur meistens auf Ernteflächen errichtet wird, muss anhand historischer Daten für Deutschland getestet werden.⁴

Landnutzungsintensität

Die aktuelle Berechnungsmethode bezieht die unterschiedliche Intensität von Landnutzung nicht explizit mit ein (siehe Kapitel 2). Es wäre angemessen, die Daten der Accounts mit Schätzungen über die Nachhaltigkeit der Landnutzung zu vergleichen.

Verhältnis zwischen nationalem nicht geerntetem und globalem nicht geerntetem Land

Diese Zahl ist als globaler Durchschnittswert angegeben, sollte aber für Deutschland extra berechnet werden.

Details zum Handel

Warenhandel

Dieser Bereich ist jener, dem am meisten Annahmen zu Grunde liegen und der vielfach Schätzungen beinhaltet. Darum wird hier auch die größte Variabilität erwartet. Die Erfahrungen der Accounts für Irland bestätigen dies (Curry et al., in press).

Die Accounts gehen von globalen durchschnittlichen Zahlen für die embodied energy importierter Güter aus (siehe auch Kapitel 4.1 und 5.2). Für die Kohlenstoffintensität im Herkunftsland oder die zurückgelegte Transportstrecke des importierten Gutes werden keine spezifischen Anpassungen unternommen. Solcherlei Berechnungen würden die Genauigkeit des Fußabdrucks erhöhen und sollten für Deutschland in Erwägung gezogen werden.

Der Handelsbereich inkludiert auch einen „capping factor“, welcher der Verzerrung der Ergebnisse durch fehlerhafte Daten vorbeugen sollte. Dieser sollte für Deutschland überprüft werden.

Handel von Dienstleistungen

Der Handel von Dienstleistungen wird in die Berechnungen nicht miteinbezogen. In einem Land mit einem signifikant großen Dienstleistungssektor sollten die direkten und indirekten Folgen auf den Fußabdruck miteinbezogen werden. Für Deutschland ist dies der Fall.

Tourismus

Auch der Einfluss des Tourismus ist nicht mitberücksichtigt. Für Deutschland sollten sowohl die Auswirkungen der inländischen Touristen, als auch der deutschen Touristen im Ausland mitberücksichtigt werden. Momentan wird der gesamte Verbrauch in Deutschland auf die Einwohnerzahl aufgeteilt.

3.1.4. Vorläufige Sensitivitätsanalyse

Obwohl im aktuellen Projektantrag nicht enthalten, könnte eine Monte Carlo-Sensitivitätsanalyse Einblick in die Abhängigkeit der National Footprint Accounts von Schwankungen der zu Grunde liegenden Daten und der systemimmanenten Annahmen der

⁴ Wie Experten bei einem Workshop am UBA (6.12.2006) bestätigten, dürfte diese Annahme zumindest für Deutschland in den meisten Fällen jedoch korrekt sein.

Berechnungen geben. Viele dieser Daten und Annahmen wurden im vorangehenden Kapitel beleuchtet.

Monte Carlo-Methoden sind Klassen von Rechenalgorithmen, mit Hilfe derer das Verhalten von physischen und mathematischen Systemen simuliert werden kann. Sie unterscheiden sich von anderen Simulationsmethoden (wie z.B. molecular dynamics) durch ihren stochastischen Charakter. Im Gegensatz zu deterministischen Algorithmen greifen nicht deterministische Verfahren wie die Monte Carlo-Methode auf Zufallszahlen bzw. „Pseudo-Zufallszahlen“ zurück. Auf Grund der Wiederholung von Algorithmen und der großen Anzahl von Rechenschritten eignen sich diese Methoden gut für computerbasierte Simulationen. Mit Hilfe der Monte Carlo Methode können Phänomene modelliert werden, welche auf unsicheren Inputdaten basieren, wie z.B. Risikoberechnungen in Unternehmen.

Im Folgenden wird eine vorläufige Monte Carlo-Analyse vorgestellt, welche die Auswirkungen von Quelldaten- und Parameterschwankungen auf das Endergebnis zu modellieren versucht. Innerhalb dieser Studie wurden 5866 Datensätze untersucht. Das Softwarepaket „Crystal Ball“ wurde für die Simulation herangezogen, ein graphisch orientiertes Prognose- und Risikoanalyseprogramm.

Die folgende Analyse stellt einen ersten Entwurf einer Sensitivitätsanalyse des Ökologischen Fußabdrucks dar.

Ergebnisse

Die Sensitivitätsanalyse des Ökologischen Fußabdrucks Deutschlands basiert auf der Annahme normal verteilter Parameter (um ihren Mittelwert) mit einer Standardabweichungen in der Höhe von 10% des Mittelwertes. Die Mittelwerte entsprechen den tatsächlichen Werten in den National Footprint Accounts.

Tabelle 4: Statistische Kenndaten der Simulationsergebnisse

<u>Statistik</u>	<u>Fit: Gamma</u>	<u>Prognosewert</u>
Mittelwert	396,872	398,122
Median	396,872	396,786
Standardabweichung	396,872	288,465
Varianz	4,659,848,900	4,603,845,568
Variationskoeffizient	0.1720	0.1704

**Abbildung 5: Sensitivität des Ökologischen Fußabdrucks für Deutschland,
 Präzisionskontrolle für einen Mittelwert von 1% und eine statistische Sicherheit von 95%**

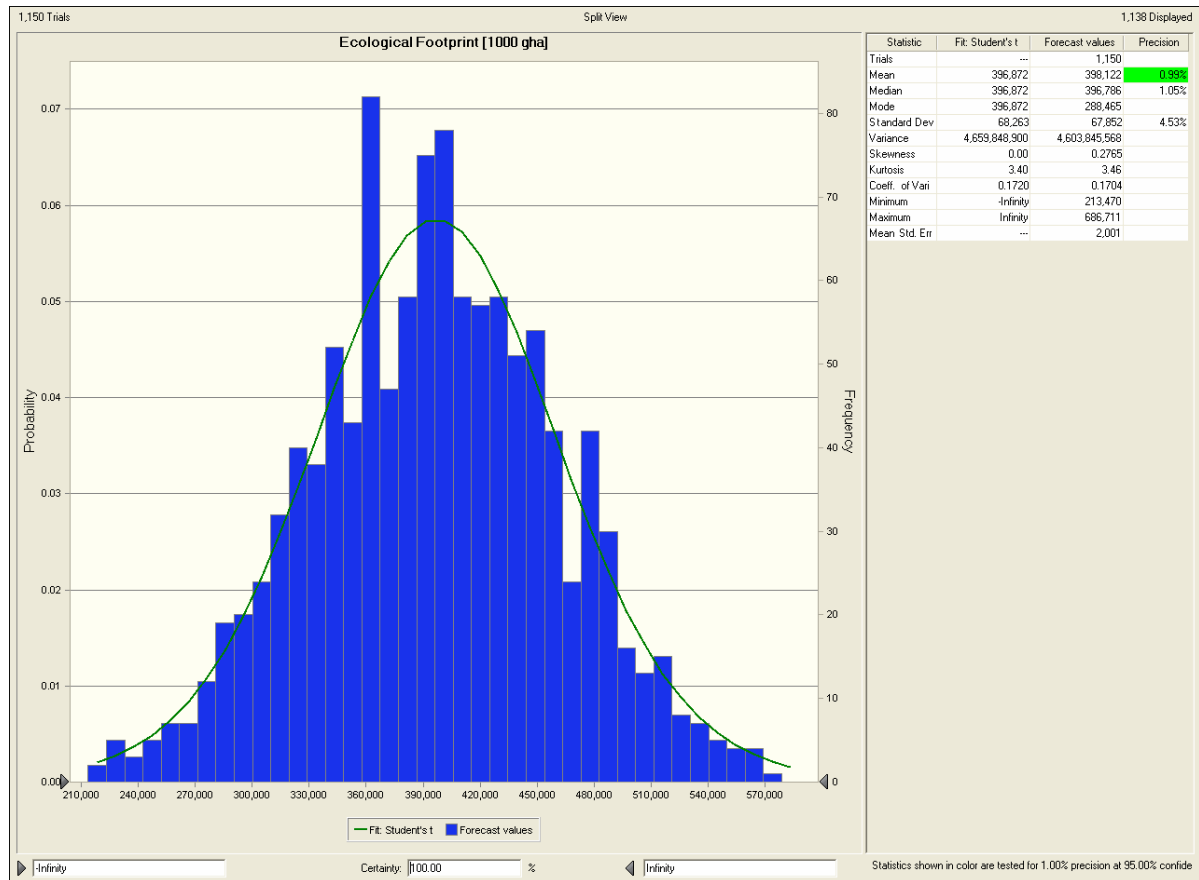


Abbildung 5 stellt die simulierte Verteilung des Fußabdrucks für Deutschland dar, ein Ergebnis von 1150 Testläufen mit den Parametern der National Footprint Accounts. Die Anzahl der Testläufe wurde durch das Präzisionskontrollniveau von 1% und dem Konfidenzintervall von 95% bestimmt. Es muss betont werden, dass diese Verteilung auf der Annahme beruht, dass die Standardabweichung der einzelnen Parameter 10% ihrer Mittelwerte beträgt. Tatsächlich können diese Werte höher oder niedriger sein, was das Ergebnis dieser Simulation beeinflussen würde.

Die Ergebnisse des Simulationsexperiments sind in Tabelle 5 aufgelistet.

**Tabelle 5: Ergebnisse des Monte Carlo-Simulationsexperimentes,
Präzisionskontrolle für einen Mittelwert von 1% und eine statistische Sicherheit von 95%**

	Teilbereich	“EF”-Kategorie	Global/ German	Contribution to variance
1	VII Land Use	Total Dry World Land Area	Global	-0.040178859
2	VII Land Use	Total World Area	Global	0.035834923
3	I Crop Products	World Cereals Harversted Area	Global	0.018168326
4	V Energy Consumption	Terrestrial Sequestration	Global	-0.014680107
5	V Energy Consumption	CO ₂ Sectoral Approach	German	0.00986159
6	IV Forest products	EF Equivalence Factor Forest	Global	0.005590464
7	V Energy Consumption	World CO ₂ - Emissions	Global	0.002418254

Wie in Tabelle 5 ersichtlich, können die wichtigsten Sensitivitätsmerkmale in verschiedene Teilbereiche entsprechend der Natur und der Größe ihrer Auswirkung gruppiert werden.

I Crop Products (Ernteprodukte):

- World Cereals Harvested Area 1,8%

IV Forest Products (Forstprodukte):

- EF Equivalence Factor Forest 0,6%

V Energy Consumption (Energieverbrauch):

- Terrestrial Sequestration factor -1,5%
- Total CO₂ Sectoral Approach 1,0%
- World CO₂-Emissions 0,2%

VII Land Use (Landnutzung):

- Total Dry World Land Area -4,0%
- Total World Area 3,6%

Diese sieben Variablen, die im Rahmen der Simulation fast immer an erster Stelle erschienen und demnach die Varianz des Fußabdrucks Deutschlands am stärksten beeinflussen, sind für 12,7% der Gesamtabweichung verantwortlich (siehe Abbildung 5). Der Beitrag anderer Parameter zur Varianz ist wesentlich kleiner, in Summe beläuft sich der Einfluss der einzelnen Parameter auf die gesamte Varianz des deutschen Fußabdrucks auf signifikante 87,3%.

Abbildung 6 stellt die Korrelationskoeffizienten zwischen den Parametern und den gesamten Fußabdruckwerten Deutschlands dar. Richtung und Länge der Balken zeigen Vorzeichen und Wert des jeweiligen Koeffizienten an.

Abbildung 6: Rangkorrelation, Ökologischer Fußabdruck, Deutschland, 2003

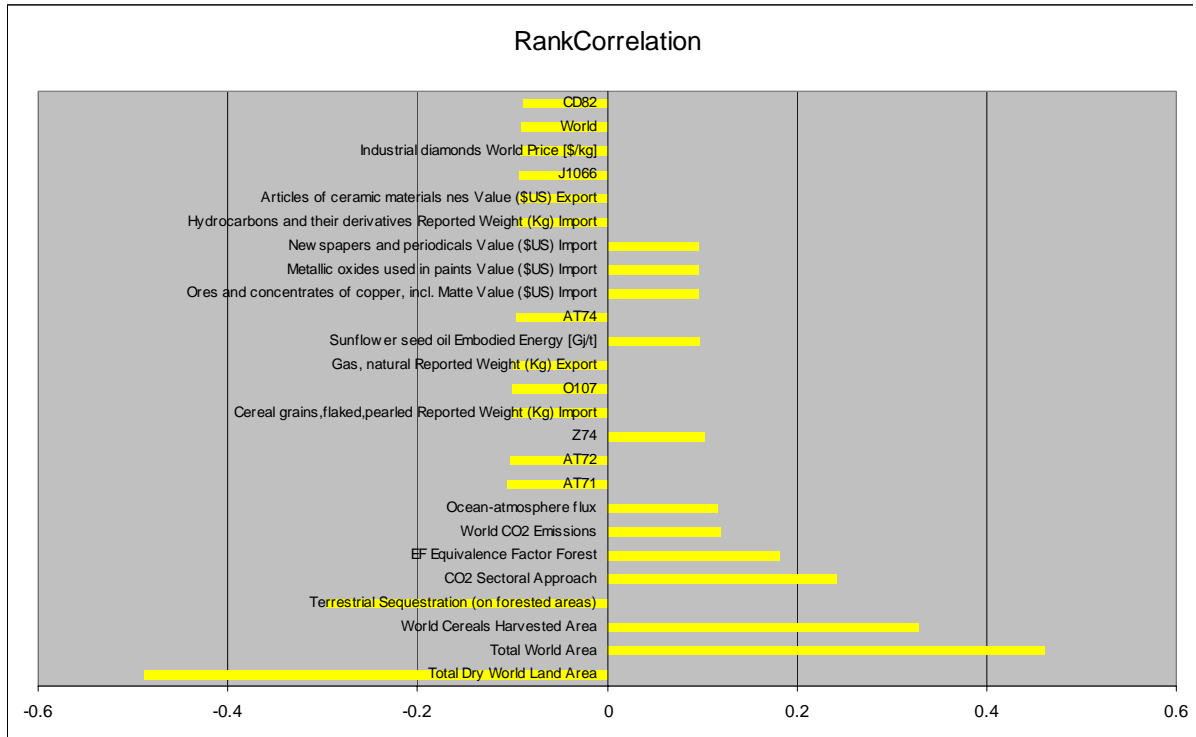


Abbildung 7 stellt den Beitrag der ersten 25 Faktoren zur Varianz dar, welche den Gesamtwert des ökologischen Fußabdrucks beeinflusst. Es wird ersichtlich, dass z.B. der Äquivalenzfaktor Wald 0,0055 zur gesamten Varianz beiträgt, "World Cereals Harvested Area" 0,0181, etc.

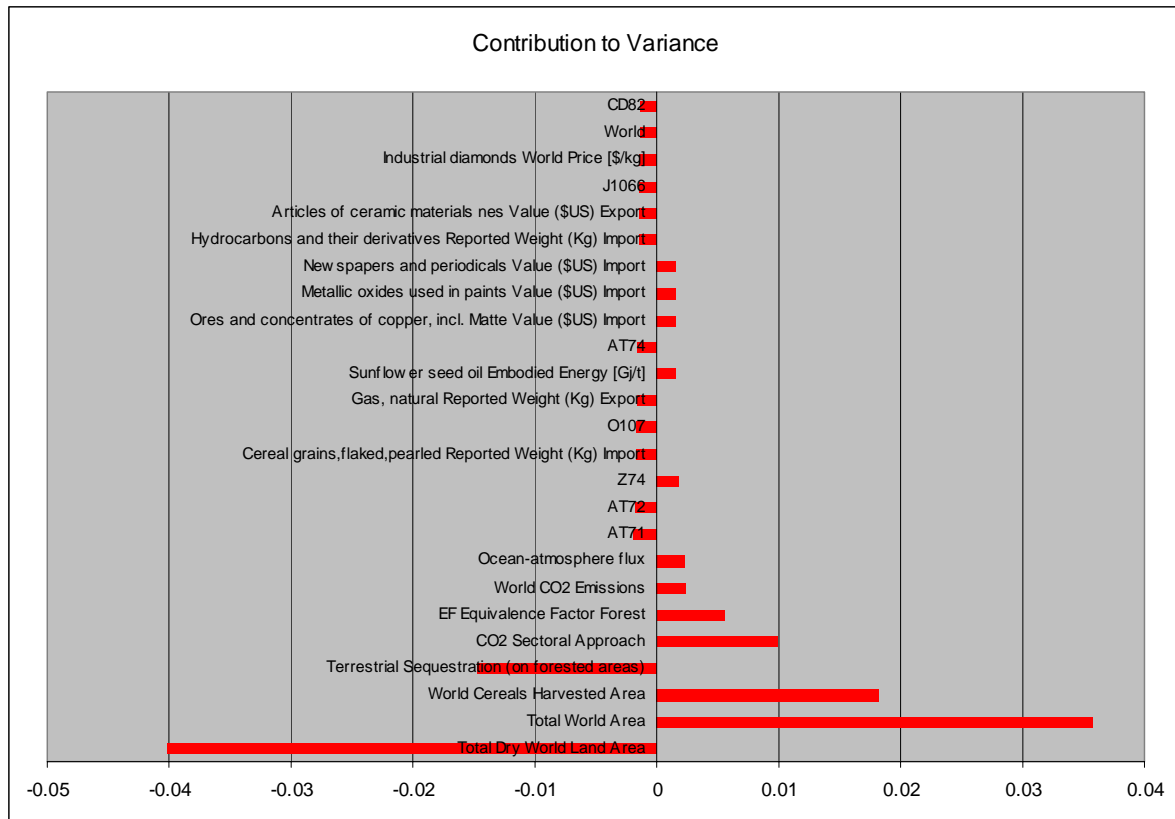
3.1.5. Schlussfolgerungen

Kapitel 3.1.3 listete die Schlüsselfragen der Berechnung auf, insbesondere solche, die für Deutschland mitgedacht werden müssen. Wenn in diesen Bereichen Veränderungen vorgenommen werden, lässt sich der relative Einfluss auf den gesamten Fußabdruck nicht ohne weitere Forschungen quantifizieren.

Die Monte Carlo-Sensitivitätsanalyse ist ein hilfreiches Instrument, jene Werte in den Bereichen, die einen signifikanten Einfluss auf den gesamten Fußabdruck haben, aufzuzeigen.

Die Auswirkungen wurden einerseits in globale Werte klassifiziert, deren Veränderung Einfluss auf alle Footprint Accounts hätten und andererseits auf Deutschland-spezifische, welche sich auf deutschlandbezogene Daten stützen und demnach nur die Fußabdruckberechnungen Deutschlands verändern würden.

Abbildung 7: Sensitivität des Ökologischen Fußabdrucks, Deutschland, 2003.



Globale Parameter, welche einen substantiellen Einfluss auf alle Fußabdruckberechnungen haben, scheinen innerhalb der folgenden Bereiche der *National Footprint Accounts* auf:

- I Ernteprodukte (Crop Products)
- IV Forstprodukte (Forest products)
- V Energieverbrauch (Energy consumption)
- VII Landnutzung (Land use)

Deutschlandspezifische Parameter wirken sich am meisten auf folgenden Bereich aus:

- V Energieverbrauch (Energy consumption)

Wenn man die einzelnen Werte betrachtet, die den größten Einfluss besitzen, so sieht man, dass der wichtigste von diesen der CO₂ Sektorielle Ansatz (Sectoral Approach) ist, der fast 1% zur Varianz des gesamten Fußabdrucks von Deutschland beiträgt.

Verbindet man nun diese Ergebnisse der vorläufigen Sensitivitätsanalyse mit den Hauptthemen des vorangegangenen Kapitels, wird klar, dass der Verbesserung der CO₂-Rohdaten und der Annahmen, die in den deutschen Berechnungen verwendet werden, oberste Priorität zugemessen werden muss. Veränderungen in diesem Bereich würden die größten Auswirkungen auf die Ergebnisse haben.

Darüber hinaus sollten Anstrengungen unternommen werden, die übrigen Daten zu validieren, in erster Linie *Crop Products*, *Fisheries*, *Energy Consumption* und *Trade Details sections*.

Folgende Punkte erscheinen dabei besonders wichtig:

- Fehlerüberprüfung der verwendeten Daten, um sicher zu gehen, dass die nationalen Daten Deutschlands von FAO, COMTRADE und weiteren korrekt berichtet wurden und auch sorgfältig in die Berechnungen eingebaut werden. Daten sollten hierbei sowohl auf Fehler in den Daten als auch auf fehlende Daten untersucht werden. Dies ist vor allem im Bereich Handel wichtig.
- Verbesserte Schätzungen der *embodied energy* und der Tierfuttermengen. Diese scheinen sowohl bei den Ernteprodukten als auch bei den Tierprodukten auf.
- Fischereierträge sollten anhand der nationalen Daten überprüft werden.
- Forsterträge sollten ebenfalls anhand der nationalen Daten überprüft werden.

Ein weiterer methodischer Schritt könnte sein, die 5866 Variablen, die in der Monte Carlo-Analyse enthalten sind, in Kategorien, wie z.B. Äquivalenzfaktoren, internationaler Handel, Primärproduktion, Ertragsfaktoren, etc. zu gruppieren und deren Gesamteinfluss zu untersuchen. Es sollte hier angemerkt werden, dass auf Grund der stochastischen Natur der Monte Carlo-Analyse und auf Grund der Struktur der Fußabdruckberechnungen, Größe und Reihenfolge der einzelnen die Varianz beeinflussenden Faktoren von Durchrechnung zu Durchrechnung leicht voneinander abweichen können. Diese Tatsache unterstreicht allerdings auch die Wichtigkeit der ersten sieben Faktoren, welche konstant an der Spitze des Ranking aufscheinen. Generell haben einzelne Faktoren einen geringen Einfluss, im Kollektiv ist dieser aber signifikant.

3.2 Analyse und Bewertung alternativer Datensätze für Deutschland

In diesem Abschnitt analysieren und bewerten wir mögliche alternative Datenquellen aus nationalen Statistiken, die zur Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks von Deutschland herangezogen werden könnten.

Für die Bearbeitung dieser Aufgabe wurden die Datenblätter (spreadsheets) der „National Footprint Accounts - Germany 2003 - 2006 edition“ (GFN, 2006b) vom GFN zur Verfügung gestellt. Die hier verwendeten Daten stammen aus dem Jahr 2003.

Die Prüfung erfolgte gemäß der sechs Hauptkategorien (und ihrer Aufgliederung) des Ökologischen Fußabdrucks:

- (1) Ernteerzeugnisse (crop products)
- (2) Tierprodukte (animal products)
- (3) Fischerei (fisheries)
- (4) Forstprodukte (forest products)
- (5) Energieverbrauch (energy consumption)
- (6) Bebautes Land und Landnutzung (built-up land & land use, incl. “hydro”land)

Probleme bei der Analyse ergaben sich dadurch, dass die in den „spreadsheets“ verwendeten Datensätze nicht immer 1:1 mit den alternativen Datensätzen verglichen werden konnten, vor allem aufgrund nicht verfügbarer nationaler Daten für das Jahr 2003. Des Weiteren konnte oft nicht geklärt werden, wie die einzelnen Güter bzw. Kategorien definiert werden und welche Datensätze sie dabei umfassen. Zudem konnten die „Originaldaten“ bzw. die den publizierten Datensammlungen zugrunde liegenden Statistiken

nicht geprüft werden. Für die Bearbeitung dieser Aufgabe wurden nur nationale statistische Daten, insofern diese frei verfügbar und zugänglich waren, auf ihre Eignung hinsichtlich einer Verwendung in der Berechnung des ökologischen Fußabdrucks für Deutschland untersucht. Bezüglich der Originaldaten wurden jedoch Auskünfte und weiterführende Informationen vom Statistischen Bundesamt erteilt, auf die im Anschluss näher eingegangen wird.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse als auch Quellen dieser Recherche kurz zusammengefasst.

Kategorien 1-4

Bei der Prüfung der online und frei verfügbaren Datensammlungen (Statistisches Jahrbuch, Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR), Umweltdaten UBA) im Bereich landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche und fischereiwirtschaftliche Erzeugnisse stellte sich heraus, dass diese in der vorliegenden Form nicht für die Kalkulation des ökologischen Fußabdrucks geeignet sind. Aufgrund der Vielfalt an Erhebungsdaten und -kategorien können diese Datensammlungen nur einen Überblick geben bzw. aggregierte Informationen liefern. Zudem bestehen seitens der Außenhandelsstatistiken gewisse Geheimhaltungspflichten, so dass die Originaldaten nicht veröffentlicht werden können.

Nach Auskunft des Statistischen Bundesamtes besteht jedoch die Möglichkeit detaillierte Außenhandelsstatistiken zu erhalten. Dies betrifft ebenso die Daten der Amtlichen Agrarstatistik, Holzeinschlagstatistik etc. Die Nutzungsrechte sind mit dem Statistischen Bundesamt zu klären.

Im Warenverzeichnis der Außenhandelstatistik werden sämtliche Güter, für die Daten erhoben werden, aufgeführt. Dieses Verzeichnis umfasst mehr als 9000 Güter und deckt alle Güter der Kategorien 1-4 ab, die auch für die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks genutzt werden. In vielen Fällen, ist die Klassifikationstiefe größer als bei den Daten der FAO.

Angaben zur Verwendung der Güter (wie z.B. domestic supply, feed, seed, food manufacture, waste) konnten nur sehr eingeschränkt gefunden werden. Nach Information des Statistischen Bundesamtes werden derzeit Angaben zur Verwendung von landwirtschaftlichen Gütern für die Lebensmittelherstellung, Futtermittelherstellung, die Landwirtschaft selbst (z.B. Saatgut) und sonstige Verwendung als auch Angaben zur Verwendung von forstwirtschaftlichen Gütern von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig berechnet. Diese Daten werden für 45 unterschiedliche Produktionsverfahren ermittelt und soll jeweils alle vier Jahre zusammengestellt werden. Bisher liegen diese Daten bis 1999 vor.

Weitere Daten zum Verbrauch der Güter sind beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) bzw. bei der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle (ZMP) zu erfragen.

Inwieweit es sinnvoll ist, die bisher verwendeten Daten der FAO durch nationale Quellen zu ersetzen, muss durch den direkten Vergleich der Daten (z.B. des Jahres 2003) untersucht werden. Unbestritten ist, dass die nationalen Daten eine große Genauigkeit besitzen und oft sehr stark untergliedert werden. Generell sollte auch berücksichtigt werden, dass die FAO-Daten aus nationalen Quellen generiert werden und somit nicht die einzige mögliche Fehlerquelle darstellen.

Kategorie 5

Für den Bereich CO₂-Emissionen findet sich im nationalen Bereich die UBA-Datenbank (UBA Emissions-„Trendtabellen“). Diese enthalten eher grobe Datenkategorien (etwa

energiebedingte Emissionen, Industrieprozesse, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft mit den jeweiligen Unterkategorien; der Differenzierungsgrad der Datenkategorien liegt daher unterhalb jenes der IEA). Als Alternative bzw. Ergänzung zu der Methode der IEA sind die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamts (Tabellen zu Kapitel 6) von Interesse, da diese teilweise eine genauere Zuteilung der Emissionen zu verschiedenen Produktionsbereichen enthalten. Diese Berechnungen basieren auf den Daten des UBA.

Die Datenkategorien der UGR sind teilweise ausdifferenzierter als jene der IEA, man könnte also erwägen, einzelne Unterkategorien der UGR für die Fußabdruck-Berechnungen mit aufzunehmen.

Für den Bereich der CO₂-Sequestration (Bindung von CO₂) in Wäldern etc., existiert in Deutschland eine Berechnung im Rahmen der UBA-„Trendtabellen“. Diese behandeln auch die Bindung von CO₂ in Senken. Jedoch zielt der „Sequestration Footprint“ darauf ab, die Fläche an Senken zu berechnen, die nötig ist, um das weltweit emittierte CO₂ zu binden. Dies folgt einer Methode des IPCC bzw. der FAO. Solche Berechnungen sind – soweit ersichtlich – für die deutsche Ebene nicht angestellt worden.

Für die Berechnung der Energie aus importierten Gütern könnte auf nationaler Ebene die Probas-Datenbank des UBA betrachtet werden. Diese gibt für verschiedene Produkte den Kumulierten Energieaufwand für Produkte (KEA) an. Das Ziel der Bewertung des Kumulierten Energieaufwands ist es, den Energieaufwand zur Erzeugung eines Produktes (Dienstleistung) über die gesamte Produktionskette aufzuzeichnen und zusammenzufassen. Der KEA in der Probas-Datenbank bezieht nicht den Energieaufwand für die Nutzungsphase und die Entsorgungsphase ein. Diese Datenbasis könnte ggf. als alternativer Ausgangspunkt für Berechnungen der verbrauchten Energie für die Herstellung von Gütern im Ausland sein. Jedoch müsste hierbei der Energieaufwand in CO₂-Emissionen umgewandelt werden, was für eine ökologische Bewertung ein aussagekräftigeres Kriterium als der KEA ist. Insgesamt erscheint es aber bei der Vielzahl der in Betracht kommenden Güter vorzugswürdig, international einheitliche Daten als national unterschiedliche Daten zu verwenden.

Kategorie 6

Daten zur Landnutzung (inkl. bebautes Land) können aus den ATKIS-Daten (Amtlich Topografisch-Kartografisches Informationssystem) generiert werden. Diese Daten verfügen über eine höhere geometrische als auch inhaltliche Auflösung. Auch die Kategorie „Hydro“land könnte ggf. aus diesen Datensätzen generiert werden. Als zukünftige Datenquellen für die Landnutzung können DeCover-Daten oder eventuell die CORINE Landcover 2006-Daten in Frage kommen.

Ergebnisse einer Schweizer Studie zum Vergleich nationaler und internationaler Daten

In einer kürzlich erschienenen Studie, die von vier Schweizer Bundesämtern erarbeitet wurde (Von Stokar et al., 2006b), wurden die Datensätze des Global Footprint Network (GFN) mit nationalen Datensätzen verglichen. Auf Basis dieser Analyse und der verbesserten Daten wurde der Ökologische Fußabdruck für die Schweiz neu berechnet. In der Annahme, dass die Datensätze des GFN für Deutschland und die Schweiz eine vergleichbare Qualität aufweisen und dass die Statistiken beider Länder eine ähnliche Genauigkeit sowie Gliederung besitzen, können die in dieser Studie erzielten Ergebnisse ebenfalls für eine vergleichbare Studie in Deutschland erwartet werden. Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse dieser Studie für die Analyse der einzelnen Kategorien des Ökologischen Fußabdruckes. Für fast alle Kategorien zeigen die Daten nur geringe Abweichungen. Somit

können die internationalen Datensätze als verlässliche Quelle betrachtet werden. Des Weiteren zeigt die Schweizer Studie aber auch Probleme und Defizite für die Datensätze in den Bereichen „Energie“ und „Bebautes Land“ auf und empfiehlt an dieser Stelle die Verwendung nationaler Daten. Auf Basis der Resultate in der Kategorie „Energie“, hat das GFN die Berechnungsgrundlagen überprüft und die nationalen Daten der Schweiz in die Kalkulation mit einbezogen. Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs nationaler (Schweizer) und internationale Daten.

Tabelle 6. Ergebnis des Vergleichs der nationalen und internationalen Daten

Kategorie	Differenzen in den nationalen und internationalen Daten	Ergebnis
Ernterzeugnisse	Es gibt methodische Differenzen bei Einheiten und sekundären Produkten	Einfluss der Unterschiede auf Endergebnis ist relativ klein
Tierprodukte	Die Statistiken sind vergleichbar	Internationale Daten können benutzt werden
Fischerei	Die Einheiten und Kategorien sind unterschiedlich	Internationale Dateien sind plausibel
Forstprodukte	Kleine Unterschiede bei primären Produkten. Sekundäre Produkte sind durch Probleme mit der Vergleichbarkeit der Einheiten problematischer	Unklar, ob nationale Daten bessere Qualität besitzen. Empfehlung: Nutzung der internationalen Daten
Energieverbrauch	1% Unterschied bei Nuklearenergie und 2% Unterschied bei Fossilenergie	Dateien vergleichbar und Ergebnisse vertrauenswürdig
	Ein Dateifilter, der benutzt wird, um implausible Dateien zu eliminieren, generiert große Datenverzerrungen	Aufgrund dieser Untersuchung plant GFN, diesen Filter zu ändern
Bebautes Land und Landnutzung	Die Daten für 2002 sind vergleichbar, aber die internationale Datenzeitreihe ist problematisch, weil es nur sehr wenig Datenpunkte gibt	In der Schweizer Studie werden nationale Daten benutzt.

Quelle: Von Stokar et al., 2006b

Tabelle 7: Analyse und Bewertung alternativer, frei verfügbarer Datensätze für Deutschland

Kategorien	Standardquelle	Alternative Quelle	Evaluation	Zusammenfassung der Evaluation
Ernteerzeugnisse (crop products)	FAOSTAT food balance sheets & database*	Statistisches Jahrbuch (StBA)*	Aggregierte Produktionsangaben (in ha; dt/ha); Import-/ Export-Daten (in Mio. € %); exotische Kulturen fehlen; Grundlage: <i>Amtliche Agrarstatistik, Bodennutzungshaupterhebung, Geschäftsstatistiken des BMELV</i>	Statistisches Jahrbuch + UGR bieten nur stark aggregierte Informationen, teilweise auch nur in den Einheiten € bzw. %. Statistik des BMELV oft sehr detailliert. Diese Daten <u>erscheinen</u> z.T. als alternative Datenquelle <u>geeignet</u> . Allerdings müssen die "Originaldaten" (<i>Amtliche Agrarstatistik, Außenhandelsstatistik</i>) des StBA geprüft werden. Nach Information des StBA besitzen diese Daten eine hohe Genauigkeit und Gliederungstiefe und werden somit als eine geeignete alternative Datenquelle eingestuft. (Diese Aussage betrifft auch die Kategorien: Tierprodukte, Fischerei und Forstprodukte)
		UGR* (StBA)	Aggregierte Informationen zur Verwertung der biotischen Rohstoffe (pflanzliche Biomasse) sowie zum Import/ Export (in t)	
		UBA Umweltdaten*	Keine relevanten Informationen	
		BMELV-Statistik*	Außenhandelsstatistik + statistische Monatsberichte (Import/Export, Anbau) für verschiedene Kategorien (in t; €); sehr detailliert bzw. aufgeschlüsselt; z.T. starke Abweichungen zu FAO-Daten (Grundlage: <i>StBA-Daten</i> ; Auswertung durch BMELV+BLE)	
		StBA-Datenbank (GENESIS-Online)	Benutzung ist kostenpflichtig! (Deswegen wurden Daten bisher noch nicht überprüft.)	
Tierprodukte (animal products)	FAOSTAT food balance sheets & database*	Statistisches Jahrbuch (StBA)*	Aggregierte Produktionsangaben (in ha; dt/ha); Import-/ Export-Daten (in Mio. € %); z.T. sehr detaillierte Aufgliederung; Grundlage: s. „Ernteerzeugnisse“	Statistisches Jahrbuch + UGR bieten nur stark aggregierte Informationen, teilweise auch nur in den Einheiten € bzw. %. Statistik des BMELV oft sehr detailliert. Diese Daten <u>erscheinen</u> z.T. als alternative Datenquelle <u>geeignet</u> . Allerdings müssen die "Originaldaten" (<i>Amtliche Agrarstatistik, Außenhandelsstatistik</i>) des StBA geprüft werden.
		UGR* (StBA)	Aggregierte Informationen zur Verwertung der biotischen Rohstoffe (tierische Biomasse) sowie zum Import/ Export (in t)	
		UBA Umweltdaten*	Keine relevanten Informationen	
		BMELV-Statistik*	s. „Ernteerzeugnisse“	
		StBA-Datenbank (GENESIS-Online)	Benutzung ist kostenpflichtig! (Deswegen wurden Daten bisher noch nicht überprüft.)	
Fischerei (fisheries)	FAOSTAT food balance sheets	Statistisches Jahrbuch (StBA)*	Import-/ Export-Daten (in Mio. € %) für Fische und Fischereierzeugnisse	Statistisches Jahrbuch + UGR bieten nur stark aggregierte Informationen, teilweise auch nur in den Einheiten € bzw. %. Statistik des BMELV ist detaillierter, jedoch nicht so tief untergliedert wie die FAO-Daten. Gemäß des Warenverzeichnisses der Außenhandelsstatistik (Kapitel 3) wird diese Kategorie jedoch sehr detailliert erhoben.
		UGR* (StBA)	aggregierte Informationen zur Verwertung der biotischen Rohstoffe (Fischerei: Fangmengen der Hochsee- und Küstenfischerei sowie der Binnenfischerei) sowie zum Import/ Export (in t)	
		BMELV-Statistik*	Außenhandelsstatistik + statistische Monatsberichte (Import/ Export, Anlandungen) für verschiedene Fischarten (in t; €);	
		StBA-Datenbank (GENESIS-Online)	Benutzung ist kostenpflichtig! (Deswegen wurden Daten bisher noch nicht überprüft.)	

Kategorien	Standardquelle	Alternative Quelle	Evaluation	Zusammenfassung der Evaluation
Forstprodukte (forest products)	FAO forestry-Daten z.T. Temperate and Boreal Forest Resource Assessment (TBFRA)	Statistisches Jahrbuch (StBA)*	Stark aggregierte Import-/ Export-Daten (in Mio. € %); Daten zum Holzeinschlag im m ³ (gegliedert in Baumarten und Holznutzung); Grundlage: <i>Holzeinschlagstatistik</i>	Statistisches Jahrbuch bietet nur stark aggregierte Informationen. UGR + Statistik des BMELV mit i.d.R. sehr detaillierten Angaben. Einsatz als alternative Datenquelle ist denkbar. Weiterhin zu prüfen sind die Originaldaten der <i>Holzeinschlagstatistik, Außenhandelsstatistik</i> .
		UGR* (StBA)	z.T. sehr ausführliche Informationen, inkl. Import und Export (in t, m3) zur Verwendung/Aufkommen von Holz und Holzzeugnissen (s. 13. Waldgesamtrechnung)	
		UBA Umweltdaten*	Keine relevanten Informationen	
		BMELV-Statistik*	statistische Monatsberichte (Holzaußenhandel, -bestände, -einschlag, -erzeugnisse, -halbwaren, -sortimente, -verbrauch, -verkauf)	
Energieverbrauch (energy consumption) a) CO ₂ -Verbrauch (CO ₂ -consumption)	IEA CO ₂ emissions from fuel combustion	UBA-Emissions-Trendtabellen*	Enthält eher grobe Datenkategorien (etwa energiebedingte Emissionen, Industrieprozesse, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft mit den jeweiligen Unterkategorien). Differenzierungsgrad der Datenkategorien daher unterhalb von IEA.	Als Alternative bzw. Ergänzung zu der Methode der IEA ist die UGR von Interesse, da diese teilweise eine genaue Zuteilung der Emissionen zu verschiedenen Quellen kennt. Beim Vergleich der Daten ist Vorsicht geboten, da die Emissionsbereiche („Emissionsquellen“) nicht genau definiert sind und sich auch Größenunterschiede bei den Emissionswerten gefunden haben (etwa Holzprodukte), wo nicht klar wird, auf welche Gründe diese zurückzuführen sind.
		UGR* (StBA)	Die UGR basieren auf den UBA-Daten: Teilweise gliedern die UGR deutlicher als die IEA (etwa bei Commercial and Public Services, Machinery, etc.) Hier ist zu überlegen, ob nicht die feinere Untergliederung hilfreich sein könnte bei der Zuteilung von Emissionen zu bestimmten Emissionsquellen.	
b) Energie aus importierten Gütern (embodied energy)	UN COMTRADE	Probas Datenbank UBA/ Öko-Institut	Gibt Daten zum Kumulierten Energieaufwand für Produkte (KEA) an. Das Ziel der Bewertung des Kumulierten Energieaufwands ist es, den Energieaufwand zur Erzeugung eines Produktes (Dienstleistung) über die gesamte Vorkette aufzuzeichnen und zusammenzufassen. Der KEA in der Probas-Datenbank bezieht nicht den Energieaufwand für die Nutzungsphase und die Entsorgungsphase ein.	Fraglich ist, welche methodischen Unterschiede es in der Datengenerierung (Bilanzgrenzen, Primärdaten) gibt. Gerade bei der Vielzahl von unterschiedlichen Gütern sollten international einheitliche Datenquellen genommen werden. Von einem Umsteigen auf KEA wird aus diesem Grund abgeraten.
c) CO ₂ -Sequestration	IPCC approach	Kein nationales Verfahren zur Berechnung eines CO ₂ Sequestration Footprint	Die UBA Emissions-Trendtabellen enthalten auch Angaben zur Bindung von CO ₂ in Senken (Wälder), somit werden Emissionen abgezogen. Jedoch gibt es – soweit ersichtlich – keine Verfahren zur Errechnung des Bedarfs an Senken zur Bindung des gesamten CO ₂ , das in Deutschland produziert wird.	
Bebautes land und Landnutzung (built-up land &		CORINE Landcover (CLC) 2006	Aktualisierung der Daten 2006/2007 Ergänzung durch zusätzliche hochauflösende Satellitendaten. Bisher verfügen Daten (CLC 1990/2000) nur über geringe geometrische und thematische Auflösung!	ATKIS -Daten (in aufbereiteter Form) könnten genauere Daten liefern. Zukunft: DeCover-Daten als optimale Datengrundlage zur

Kategorien	Standardquelle	Alternative Quelle	Evaluation	Zusammenfassung der Evaluation
land use)	CORINE Landcover	ATKIS	Daten mit hoher geometrischer Genauigkeit der Daten (3-10 m); starke Untergliederung der Landnutzung/built-up land im ATKIS-Basis-Objektartenkatalog. Problem: zum Teil wenig benutzerfreundliche Aufbereitung der Daten (effiziente Nutzung der Daten nicht immer gewährleistet).	Ermittlung der „Build-up-area“ bzw. sämtlicher Bodenbedeckungs- und Landnutzungsarten Datenqualität von CLC 2006 -Daten muss geprüft werden!
		DeCover	Vorhaben von 2005-2008; Ziel: Verbesserung der Aktualität + Qualität + Informationsgehalt der nationalen vorhandenen Daten zur Landbedeckung (z.B. ATKIS, CLC) mit geometrischer Genauigkeit von ca. 10 m.	
„Hydro“ Land	British Petroleum	ATKIS	s. ATKIS-Beschreibung oben; im Objektartenkatalog gibt es u.a. die Kategorien: Wasserwerk, Talsperren.	ATKIS -Daten könnten hier genauere Daten liefern.

* Daten sind online und frei verfügbar

Abkürzungen:

ATKIS - Amtlich Topografisch-Kartografisches Informationssystem
BMELV - Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BLE - Bundesanstalt für Ernährung und Landwirtschaft
CORINE - Coordination of Information on the Environment
IEA - International Energy Agency
DeCover - Deutsche Landcover-Datenbasis für Bund- und Länder-Aufgaben
StBA - Statistisches Bundesamt Deutschland
UBA - Umweltbundesamt
UGR - Umweltökonomische Gesamtrechnungen des StBA

Probleme bei der Datenrecherche:

- Datensätze der FAO konnten nicht immer eins zu eins verglichen werden, da nationale Daten für 2003 oft nicht verfügbar waren.
- Nationale, online verfügbare Datensätze sind in der Regel ausgewertete Datensätze seitens des StBA, BMELV etc., sodass von diesen Daten nicht immer auf die Struktur der „Rohdaten“ geschlossen werden kann. (Diese Daten, die v.a. beim StBA vorliegen müssten hinsichtlich ihrer Inhalte und Kategorien überprüft werden).
- Fehlende Definitionen der Güter (was verbirgt sich hinter den einzelnen Kategorien bei FAO-Daten bzw. bei nationalen Daten?)

4 Methode und Interpretierbarkeit

4.1 Analyse methodischer Schwächen und Kritikpunkte

In diesem Abschnitt analysieren wir verschiedene Bereiche methodischer Schwächen und Kritikpunkte am Konzept des Ökologischen Fußabdrucks. Diese Analyse stellt die Basis für die Ableitung von Vorschlägen zur Verbesserung der Methode in Kapitel 5.2 dar.

Die verschiedenen Kritikpunkte fassen wir in sieben thematischen Gruppen zusammen:

- Grundfragen zur Konzeption des Indikators;
- Einbeziehung von verschiedenen Umweltkategorien;
- Fragen der Aggregation;
- Annahmen zur Landnutzung;
- Intransparenzen und Probleme bei der Datenverarbeitung;
- Der Fußabdruck von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen;
- Globale Auswirkungen und die Rolle des internationalen Handels.

4.1.1. Grundfragen zur Konzeption des Indikators

Schwache Nachhaltigkeit versus starke Nachhaltigkeit

Der Ökologische Fußabdruck beruht auf dem Konzept der starken Nachhaltigkeit. Dieses postuliert die Grundannahme, dass Naturkapital und menschen-gemachtes („man-made“) Kapital nicht beliebig substituierbar sind, sondern die Produktion von menschen-gemachtem Kapital zu einem Großteil von der Verfügbarkeit von intaktem Naturkapital abhängt. Es ist daher erklärtes Ziel der Entwickler des Fußabdruckkonzeptes, den Bestand an Naturkapital (zumindest den Anteil an *critical natural capital*, siehe oben) weitgehend unversehrt zu lassen und nur von dessen „Zinsen“ in Form von jährlich zur Verfügung stehenden und sich regenerierenden Flüssen an Energie und Biomasse zu leben (Wackernagel and Rees, 1996).

Anhänger der schwachen Nachhaltigkeit postulieren hingegen, dass der Wohlstand einer Gesellschaft dann nachhaltig gesichert sei, wenn die Summe aus Natur- und menschen-gemachtem Kapital insgesamt nicht abnimmt. Dies impliziert, dass die verschiedenen Kapitalarten gegeneinander austauschbar sind. Eine solche Betrachtungsweise liegt Indikatoren wie „Green GDP“ oder „Genuine Savings“ zu Grunde. Manche Autoren argumentieren, dass es keinen Grund gäbe, den derzeitigen Bestand an Naturkapital als optimal und erhaltenswert zu erachten und daher auszuschließen, dass nicht zumindest ein gewisser Grad an Substitution auch als Schritt in Richtung Nachhaltigkeit gesehen werden kann (van Kooten and Bulte, 1999). Eine solche Betrachtungsweise würde die Größe des Fußabdrucks verringern, da die Umweltfolgen menschlicher Handlungen weniger stark gewichtet würden (EAI, 2002).

Dieses Argument wird auch von Befürwortern des Konzeptes aufgenommen. Denn sollte die Substitution von Naturkapital durch menschen-gemachtes Kapital dazu führen, dass Menschen z.B. einen geringeren Energieverbrauch aufweisen (z.B. durch den Bau von

Windkraftanlagen aus natürlichen Ressourcen wie Metallen), dann würde sich diese Entwicklung in der Tat positiv im Fußabdruck niederschlagen.

Anschlussfähigkeit an andere Umweltrechnungs- und Indikatorensysteme

Der Fußabdruck ist ein hoch-aggregierter Indikator des menschlichen Ressourcenverbrauchs. Er basiert auf einer Vielzahl unterschiedlicher Primärstatistiken, insbesondere auf Daten zu Materialflüssen, zum Energieverbrauch, zu den CO₂-Emissionen sowie zur Landbelegung durch Bebauung und Infrastruktur.

Das Accounting System des Ökologischen Fußabdrucks entwickelte sich parallel zu anderen integrierten Umweltrechnungssystemen; dazu zählen etwa die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) in Deutschland, das NAMEA (National Accounting Matrix including Environment Accounts) System auf europäischer Ebene oder das SEEA (Integrated System of Economic and Environmental Accounts) System auf UN-Ebene. Zumindest bislang ist es nicht vorgesehen, den Ökologischen Fußabdruck als Indikator in diesen Systemen zu integrieren. Einige Aspekte sind hier von Bedeutung:

- Das Design der National Footprint Accounts lehnt sich nicht direkt an die Definition der Systemgrenzen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) an, wie dies etwa nationale Material- oder Energieflussrechnungen sowie Landnutzungsrechnungen (als Satellitenaccounts zur VGR) tun.
- Der Indikator ist somit nicht direkt mit Indikatoren aus der VGR (wie dem Bruttoinlandsprodukt auf der Makroebene oder der Produktionsleistung auf der Ebene von Wirtschaftsbranchen) zu „interlinkage indicators“ zu verbinden. Insbesondere wird der Fußabdruck in nationalen Studien (wie dem Living Planet Report) bislang nicht als Effizienz- oder Produktivitätsindikator eingesetzt.
- Der Fußabdruck wählt eine Makroperspektive und unterscheidet nicht zwischen jenen Ressourcen, welche in die Produktionssphäre fließen und jenen, welche direkt von privaten Haushalten konsumiert werden.
- Es muss eine relativ große Anzahl von Rechnungsschritten durchgeführt werden, um aus den verschiedenen Primärstatistiken zum endgültigen Indikator zu gelangen. Diese Schritte sind vielfach nicht hinreichend transparent und ausreichend dokumentiert (siehe auch weiter unten).
- Der Fußabdruck auf Länderebene wird in der Regel nicht auf die Ebene von Wirtschaftsbranchen disaggregiert. Es existieren jedoch erste Arbeiten, die zeigen, wie eine solche Zuordnung der einzelnen Kategorien des Fußabdrucks auf die einzelnen Wirtschaftsbereiche aussehen kann (siehe Literaturüberblick in Kapitel 2.2).

Dies sind einige wichtige Gründe, wieso der Fußabdruck bislang noch keinen Eingang in die offiziellen Umweltstatistiken auf nationaler und internationaler Ebene gefunden hat.

Die kürzlich gestartete Kampagne „Ten in Ten“ des GFN zielt jedoch darauf ab, diesen Schritt einzuleiten. Sie setzt sich zum Ziel, in 10 ausgewählten Vorreiterländern, wie etwa der Schweiz, Irland, Finnland, Japan, Chile und Südafrika, den Fußabdruck als ein zentrales Maß für nationale Nachhaltigkeit innerhalb der nächsten 10 Jahre zu positionieren (siehe dazu Kapitel 5.1).

Intransparenz der Annahmen und fehlende detaillierte Dokumentation

Als Schwachpunkt des Fußabdruck-Konzeptes wird vielfach hervorgehoben, dass die Konstruktion eines so hochaggregierten Indikators eine Reihe von Auswahlritten beinhaltet, deren zugrunde liegende Entscheidungen nicht hinreichend transparent sind. Darunter fallen zum Beispiel die Einbindung bzw. der Ausschluss von bestimmten Inputvariablen (welche Ressourcen werden im Indikator berücksichtigt), die Auswahl bestimmter Verrechnungsfaktoren (z.B. Äquivalenzfaktoren) sowie die Anwendung von Techniken zum Füllen von Datenlücken (siehe Schaefer et al., 2006 zu diesen Kritikpunkten). Viele dieser Prozesse sind bislang nicht oder nicht ausreichend in den National Accounts dokumentiert.

Dieses Defizit wird auch vom Global Footprint Network explizit anerkannt; eine höhere Transparenz und bessere Dokumentation der einzelnen Rechenschritte wird als explizites Ziel definiert, welches über die nächsten Jahre erreicht werden soll (siehe dazu Kapitel 5.2).

4.1.2. Einbeziehung von verschiedenen Umweltkategorien

Der Ökologische Fußabdruck zeigt die biologisch produktive Fläche, die zur Deckung des Ressourcenverbrauchs und zur Absorption von Emissionen und Abfällen eines Landes (einer Region, eines Unternehmens) notwendig ist. Bei der Berechnung des Fußabdrucks wird jedoch nur jener Ressourcenverbrauch in Landfläche umgerechnet, der sich wieder erneuert bzw. Erträge bringt (Wackernagel et al., 2004b). In erster Linie handelt es sich dabei um Rohstoffe und Produkte, die (zum Großteil) aus Biomasse bestehen (z.B. Getreide, aber auch Fleisch und Milch, Möbel, Bekleidung). Bei einer Bewertung mit dem Ökologischen Fußabdruck ist daher ein weites Spektrum von nicht-erneuerbaren Ressourcen, Emissionen und Umwelteinflüssen nicht abgedeckt (RPA, 2005). Diese Bereiche werden im Folgenden kurz dargelegt.

Emissionen und Abfall

In der gängigen aktuellen Berechnungsmethode des Ökologischen Fußabdrucks (GFN, 2006a) werden nur CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger (Öl, Kohle, Gas) entstehen, mit in die Berechnungen einbezogen. Emissionen anderer Treibhausgase, andere Emissionen sowie Abfälle bleiben unberücksichtigt (Lenzen and Murray, 2003).

In einzelnen Studien wurden Verbesserungen in Richtung Erfassung anderer Treibhausgase und Emissionen aus nicht-energetischen Quellen unternommen. Lenzen and Murray (2001) berücksichtigen beispielsweise für eine australische Studie neben CO₂ auch die Treibhausgase CH₄, N₂O, CF₄ and C₂F₆ sowie Emissionen, die aus nicht-energetischen Quellen wie Landrodung, Vergärung in Folge von Viehwirtschaft, Industrieprozessen, sowie dem Entweichen von Erdgas stammen. All diese Emissionen werden in CO₂-Äquivalente umgerechnet und im Ökologischen Fußabdruck über eine neue Kategorie „Emissionsland“ erfasst.

Diese Vorschläge wurden bislang jedoch nicht in die allgemeine Berechnungsmethode aufgenommen. Das Global Footprint Network (2006a) führt an, dass zur Zeit gesicherte wissenschaftliche Grundlagen über das Abbauverhalten von Treibhausgasen noch nicht ausreichend vorliegen, wodurch die Abschätzung der Biokapazität, die notwendig ist, um das Treibhausgaspotential zu neutralisieren, noch nicht angemessen möglich sei. Zukünftig sollen aber Methoden gefunden werden, die auch andere Treibhausgase erfassen.

Manche Kritiker (ECOTEC, 2001) argumentieren, dass der Fußabdruck dadurch keine vollständige Bewertung von Umwelteinflüssen gewährleisten kann; jedoch sehen sich auch andere aggregierte Indikatoren zur Ressourcennutzung, insbesondere jene, welche aus der Materialflussanalyse abgeleitet werden, mit derselben Kritik konfrontiert (zum Beispiel, Kleijn, 2001; van der Voet et al., 2005).

Dem entgegen andere Autoren (Lewan and Simmons, 2001), dass der Ökologische Fußabdruck gar nicht den Anspruch erhebe, alle menschlichen Einflüsse auf die Umwelt zu erfassen. Vielmehr liefert er eine konservative Schätzung und erkenne an, dass Prozesse, die die Biosphäre irreversibel schädigen (Artensterben, Entwaldung, Ausbeutung fossiler Ressourcen), nicht erfasst sind. Vorsicht ist allerdings geboten, wenn politische Maßnahmen dazu führen, dass sich nicht gemessene Einflüsse verschlechtern, während sich beispielsweise die CO₂-Performance besser darstellt (RPA, 2005).

Nicht-erneuerbare Ressourcen

Der Ökologische Fußabdruck erfasst nur die Verwendung von erneuerbaren Ressourcen, während die stoffliche Nutzung von nicht-erneuerbaren Ressourcen (Mineralien, Erze, fossile Energiequellen) nicht direkt in der Berechnung eingeht. Damit setzt der Ökologische Fußabdruck einen anderen Schwerpunkt als etwa Ressourcenindikatoren, die auf einer Materialflussanalyse beruhen, da im letzteren Fall ein großer Teil des gesamten Ressourcenverbrauchs auf nicht-erneuerbare Ressourcen zurückgeht (zum Beispiel, Behrens and Giljum, 2005; zum Beispiel, Weisz et al., 2006).

Im Konzept des Fußabdrucks werden fossile Energieträger (Öl, Kohle, Gas) nur indirekt über die bei der Verbrennung entstehenden CO₂-Emissionen berücksichtigt. Auch der Bedarf an mineralischen Gütern (z.B. Metalle, Industriemineralien und daraus hergestellte Produkte) wird nur über die Prozessenergie, welche zur Produktion notwendig ist, berücksichtigt. Die Mengen an verbrauchten Erzen oder Mineralien selbst sind in den Footprint Accounts nicht erfasst. Die Prozessenergie wird wie der Energieverbrauch von fossilen Energieträgern in CO₂-Absorptionsfläche umgerechnet (Erb et al., 2002).

Wasserverbrauch

Ökologische Fußabdrucksberechnungen klammern die direkte Erfassung des Verbrauchs und der Verwendung von Süßwasser aus. Süßwasser wird zwar über den Verlust an Biokapazität aufgrund seiner Bereitstellung indirekt berücksichtigt, da es selbst aber kein biologisch produziertes Gut darstellt, wird es im Fußabdruckskonzept nicht direkt erfasst (GFN, 2006a). Allerdings wird in den Living Planet Reports die Wasserentnahme und der Wasserverbrauch als zusätzlicher Indikator berichtet (WWF et al., 2006).

4.1.3. Fragen der Aggregation

Die Verwendung der quantitativen Einheit „Landfläche“

Die Aggregation der einzelnen Landflächekategorien zu einem Gesamtindikator wurde von vielen Autoren kritisch diskutiert (van den Bergh and Verbruggen, 1999; van Kooten and Bulte, 1999). Hauptkritikpunkt ist dabei, dass unterschiedliche Umwelteinflüsse zu einer Messgröße zusammengefasst werden, wodurch die divergierenden Einflüsse von verschiedenen Landnutzungsarten nicht dargestellt werden können. Wie bereits an anderer Stelle ausgeführt, erfasst der Ökologische Fußabdruck als quantitativer Indikator zwar Massen- und Energieströme, kann jedoch qualitative Aspekte nicht berücksichtigen. So

bleiben beispielsweise die Folgen der Abholzung von Wäldern (Erosion, Erdbeben, ...) oder die Risiken für Umwelt und Gesundheit durch Schwermetalle, radioaktive Stoffe oder Ölfälle unbeachtet. Dem muss jedoch auch hier entgegnet werden, dass der Ökologische Fußabdruck nicht für sich in Anspruch nimmt, ein umfassender Nachhaltigkeitsindikator zu sein, sondern nur *ein* wichtiger Indikator zur Messung ökologischer Nachhaltigkeit.

Durch den Bezug auf die Produktionsfläche, die dem Verbrauch von Ressourcen zugrunde liegt, werden die Massenangaben des Konsumverbrauchs vergleichbar und addierbar. Die Ertragsdaten erfüllen dabei die Funktion von Gewichtung und Standardisierung. Der unmittelbare Link zu den Umwelteinflüssen geht dadurch jedoch verloren; auch dies ist ein Grundproblem bei allen aggregierten Indikatoren zur Ressourcennutzung (van der Voet et al., 2005).

Die bei der Umwandlung gewählten Gewichtungsfaktoren entsprechen zwar ökologischen Grundregeln und thermodynamischen Gesetzen, lassen aber soziale Aspekte außer Acht. Sie reflektieren demnach weder relative Knappheit über die Zeit, noch räumliche Unterschiede (van den Bergh and Verbruggen, 1999).

Dieses Problem wird aus Sicht der Kritiker durch die Wahl eines fixen Gewichtungssystems noch verstärkt, das eine feste Substitutionsrate zwischen unterschiedlichen Kategorien von Landnutzungsformen annimmt. Diese fixe Substitutionsrate führe dazu, dass einige Kategorien mit einem identischem Gewicht versehen sind, selbst wenn es klar sei, dass ihre Umweltauswirkungen sehr unterschiedlich sind. Zum Beispiel ist die Flächennutzung durch Infrastruktur mit dem gleichen Gewicht wie die Flächennutzung durch Landwirtschaft berücksichtigt, obgleich Land für die Bereitstellung von Straßen und Infrastruktur die Umwelt wesentlich stärker beansprucht als Land, das für Weidezwecke verwendet wird. Angesichts dieser Annahmen könne die Fußabdruckmethode zu Resultaten führen, die sowohl aus Umwelt- als auch aus sozioökonomischer Sicht unerwünscht seien (van den Bergh and Verbruggen, 1999).

Die Aggregation tatsächlich und hypothetisch angeeigneter Flächen

Der Ökologische Fußabdruck aggregiert in seinen Berechnungen zwei unterschiedliche Dimensionen von Landnutzung: (1) real notwendiges Land zur Bereitstellung von Produkten wie Nahrung oder Holz oder direkt bebautes („built-up“) Land und (2) hypothetische Waldflächen, welche notwendig *wären*, um die durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstandenen CO₂-Emissionen wieder vollständig in Form zusätzlicher Biomasse zu binden (siehe im Detail auch weiter unten).

Einige Autoren (zum Beispiel, van den Bergh and Verbruggen, 1999) betonen, dass dies zu einer Missinterpretation im Sinne einer Vortäuschung falscher Tatsachen führen könne, und zwar nicht nur in der allgemeinen Öffentlichkeit und bei politischen Entscheidungsträgern, sondern auch bei Umweltschützern und Wissenschaftlern.

Mathis Wackernagel argumentiert hingegen, dass diese Flächen nicht hypothetisch seien, sondern die *reale* Übernutzung der Biokapazität des Planeten (den „Overshoot“) anzeigen.

Eine Untersuchung konkreter nachhaltigkeits-relevanter Probleme, welche mit zunehmender Landnutzung durch den Menschen in Verbindung stehen, kann jedoch durch diese Konzeption des Indikators nicht vorgenommen werden. Die Verwendung der Einheit „Globaler Hektar“ (siehe Kapitel 4.2.) führt dazu, dass regionale oder nationale Politiken, die auf eine Reduktion des Flächenverbrauchs abzielen, mit dem Fußabdruck nicht evaluiert werden können.

4.1.4. Annahmen zur Landnutzung

Die Einschränkung auf biologisch produktive Flächen

Der Ökologische Fußabdruck bezieht nur jene Land- und Wasserflächen mit in die Berechnung ein, welche für den Menschen nutzbare biologische Produktivität hervorbringen. Landflächen, welche für den Menschen nicht nutzbar sind (z.B. Wüsten oder polare Gletschergebiete), werden in der Berechnung der Biokapazität nicht berücksichtigt, da laut Wackernagel et al. (2005) die Konzentration der erneuerbaren Ressourcen in diesen Regionen zu gering ist, um signifikant zur gesamten Biokapazität beizutragen. Auch werden Feuchtgebiete und küstennahe Flussmündungssysteme aufgrund von Datenmangel derzeit weder im Fußabdruck noch in der Biokapazitätsberechnung mit berücksichtigt.

Dadurch fallen etwa 40% der Landoberfläche aus den Berechnungen heraus, die jedoch ebenfalls wichtige ökosystemare Dienstleistungen bringen können, wie etwa die Erhaltung von Biodiversität. Auch gibt es eine Reihe von indigenen Völkern, die seit Jahrhunderten in biologisch unproduktiven Regionen (z.B. Wüstenbiotopen) beheimatet sind. Die Grenzziehung zwischen für den Menschen nutzbarem und nicht-nutzbarem Land ist daher zum Teil subjektiv gewählt (Lenzen and Murray, 2003).

Wackernagel et al. (2005) schätzen, dass zwischen 80% und 90% der weltweiten biologischen Kapazität in der geschätzten global verfügbaren bioproduktiven Flächen (60% der Landfläche plus vor allem küstennahe Gewässerflächen) inkludiert sind. Laut RPA (2005) kann dieser Ausschluss von Flächen dazu führen, dass die weltweit verfügbare Biokapazität um 10-20% unterschätzt wird.

Das Global Footprint Network hingegen argumentiert, dass die Biokapazität tendenziell überschätzt wird, da Aktivitäten, welche sich negativ auf die Regenerationsfähigkeit der Biokapazität auswirken, nicht berücksichtigt werden. Dazu zählen die Nutzung von Materialien, für welche die natürlichen Systeme keine Assimilationskapazitäten haben (z.B. Plutonium, PCBs, CFCs) sowie Prozesse, welche die Biosphäre irreversibel schädigen (Entwaldung, Verwüstung, etc.).

Auch andere Aspekte der Verrechnung beeinflussen die Über- oder Unterschätzung des Fußabdrucks bzw. der Biokapazität; diese werden weiter unten im Detail behandelt.

(Nicht)Nachhaltigkeit gegenwärtiger Landnutzungsformen

Lenzen und Murray (2003) betonen, dass die Beschaffenheit der Landfläche und die Abweichung vom originären Zustand nicht durch den auf Produktivität beruhenden Berechnungsansatz erfasst werden. Land, das zu Straßen oder Gebäuden umgewandelt wurde, hat seine ursprüngliche Beschaffenheit drastisch verändert, während sich Land, das für nicht-intensiv genutzte Weideflächen oder Forstwirtschaft genutzt wird, nur geringfügig vom Originalzustand abweicht. Beide Kategorien gehen jedoch gleich gewichtet in die Berechnung ein.

Die klassische Fußabdruckberechnung sei somit nicht für detaillierte regionale Analysen tauglich, da regionsspezifische, ökonomische, politische, technologische, umweltspezifische und klimatische Aspekte ausgeklammert bleiben. Aus diesem Grund sollten Methoden entwickelt werden, die verlässliche Daten, welche die Nichtnachhaltigkeit von verschiedenen Aktivitäten und die Belastbarkeit von Ökosystemen belegen, in die Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks integrieren.

Als möglichen Schritt in diese Richtung haben Lenzen und Murray (2001) einen alternativen Ansatz entwickelt, der den qualitativen Zustand der Fläche („land condition“) berücksichtigt. Dabei werden sechs Kategorien, die von „kaum verändert“ bis „komplett verändert“ (verbaute Fläche) reichen, mit unterschiedlichen Gewichten zwischen 0 und 1 belegt. Um einen „disturbance-based“ Fußabdruck zu berechnen wird nun jede Landfläche mit dem entsprechenden „land condition factor“ multipliziert. Dadurch erhält man einen Wert, der sowohl die Fläche als auch ihren qualitativen Zustand reflektiert.

Allerdings hat dieser modifizierte Ansatz in den vom GFN publizierten Standard Footprint Accounts zumindest bislang noch keinen Niederschlag gefunden (siehe dazu auch Kapitel 5.2).

Die Frage der Mehrfunktionalität von Flächennutzungen

Im Konzept des Ökologischen Fußabdrucks wird jeder Flächenbelegung nur eine einzige Nutzungsform zugewiesen. Möglichkeiten multi-funktionaler Landnutzungsformen bleiben daher gänzlich unberücksichtigt. Dies vermeidet konsequent Doppelzählungen von einzelnen Landflächen (WWF et al., 2004), kann jedoch zu einer Überschätzung des Fußabdrucks bzw. einer Unterschätzung der verfügbaren Biokapazität führen (RPA, 2005).

Anwender der Fußabdrucksmethode räumen ein, dass diese Annahme eine notwendige Vereinfachung darstellt und argumentieren, dass sich gewisse Flächennutzungsformen in der Tat gegenseitig ausschließen; zum Beispiel kann eine Fläche entweder als Acker, Weide, Forst oder bebautes Land genutzt werden.

Anders sieht diese Vereinfachung bei den Themenbereichen CO₂-Absorption, Biodiversität und Wasser aus. Kritiker des Fußabdrucks argumentieren, dass sich Aktivitäten wie CO₂-Absorption, Biodiversitätserhaltung und Forstwirtschaft nicht zwingend ausschließen würden (RPA, 2005). Dem entgegen Befürworter (Wackernagel et al., 1999), dass Aufforstungsgebiete notwendig seien, um signifikante Mengen an CO₂ zu binden und diese eine geringere Biodiversität aufweisen als alte Waldsysteme. Zusätzlich könnten CO₂-Wälder nicht gleichzeitig zur Holzgewinnung herangezogen werden, da das Fällen von Bäumen die Möglichkeit zur CO₂-Absorption unterwandert.

Die direkte Einbeziehung des Wasserverbrauchs und der Wasserbereitstellung in das Fußabdruckkonzept – diese werden in der derzeitigen Methode nicht berücksichtigt – könnte jedoch zu einer Änderung der Annahmen hinsichtlich Mehrfachnutzungen von Flächen führen, da z.B. auch Forstflächen zur Wasserbereitstellung genutzt werden können.

Annahmen hinsichtlich der Änderung von Landnutzungsformen

Die Methode des Ökologischen Fußabdrucks nimmt an, dass bebautes Land für Infrastruktur („built-up land“) immer landwirtschaftlich produktives Land ersetzt. Das dahinterstehende Argument ist, dass die große Mehrheit menschlicher Siedlungen in hoch-produktiven Regionen entstanden ist. Bebautes Land wird daher in den Footprint Accounts auch mit Äquivalenzfaktoren der Landwirtschaft verrechnet.

Diese Annahme hat einige wichtige Implikationen. Erstens führt dies tendenziell zu einer Überschätzung der beanspruchten Biokapazität. Zweitens kann dadurch die kontra-intuitive Entwicklung entstehen, dass Länder, die ihre Infrastruktur auf Landflächen errichten, die keine landwirtschaftlichen Flächen sind, sowohl ihren Fußabdruck als auch ihre Biokapazität erhöhen. Einige Forscher schlagen daher vor, entweder die Biokapazität von bebautem Land je nach Landtyp, der bebaut wurde, unterschiedlich zu berechnen, oder die Kategorie

bebautes Land zur Gänze aus den Footprint Accounts zu entfernen, weil bebautes Land keine bioproduktive Kategorie darstellt.

Die Berücksichtigung von Flächen zur Biodiversitätserhaltung

In frühen Studien zum Ökologischen Fußabdruck auf nationaler Ebene wurde eine Fläche von 12% der gesamten biologisch produktiven Fläche als Konservierungsfläche für Biodiversität reserviert (Wackernagel et al., 1999; Wackernagel et al., 1997). In der Serie der Living Planet Reports (für den neuesten Bericht, siehe WWF et al., 2006) wird hierfür keine Fläche separat ausgewiesen, obwohl herausgestrichen wird, dass die Aneignung von Biokapazität durch den Menschen negative Effekte auf die Biodiversität besitzt. Wie viel Biokapazität durch den Menschen ungenutzt bleibt und somit als Puffer für die Erhaltung der Biodiversität dienen kann, sei eine gesellschaftliche Entscheidung, die im Fußabdruckskonzept nicht vorweggenommen werden sollte (Wackernagel et al., 2005).

4.1.5. Fragen der Datenverarbeitung

Globale versus nationale Ertragsfaktoren

Die Standardmethode zur Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks verwendet globale Ertragsfaktoren, um die nationale Nachfrage in den verschiedenen Produktkategorien in die Einheit „Globale Hektar“ umzurechnen (eine Ausnahme bilden hier die so genannten Sekundärprodukte, siehe nächstes Unterkapitel).

Eine Reihe von Arbeiten zeigen, dass sich die Annahmen zur Umrechnung der Konsumdaten über bestimmte Ertragsfaktoren stark auf die Größe des Fußabdrucks auswirken. Zum Beispiel zeigen Haberl et al. (2001), dass verschiedene Annahmen zu den Ertragsfaktoren eine Veränderung der Ergebnisse um (mindestens) einen Faktor 2 bedingen können.

Der wichtigste Unterschied ergibt sich durch die Heranziehung von globalen oder nationalen Ertragsfaktoren zur Umrechnung der Konsummengen in Hektar. Welche dieser Umrechnungsarten zur Anwendung kommt, hängt entscheidend von der Ausgangsfrage ab: wenn berechnet werden soll, wie viel physische Landfläche (unabhängig von seiner Bioproduktivität) *tatsächlich* belegt wird, um alle Güter und Dienstleistungen bereitzustellen, die eine Gesellschaft konsumiert, dann sollten nationale (oder sogar lokale) Ertragsfaktoren herangezogen werden. Lautet die Frage jedoch, welche Flächenaneignung durch den Konsum in verschiedenen Ländern zu verschiedenen Zeiten stattfindet, dann sind globale Ertragsfaktoren von Vorteil, weil sie direkte Vergleichbarkeit ermöglichen (Haberl et al., 2001; Wackernagel et al., 2004a).

Vereinheitlichungen in den unterschiedlichen Methoden führten dazu, dass die Konsistenz der Resultate, die mit unterschiedlichen Methoden gewonnen werden konnte, deutlich gestiegen ist und davon ausgegangen werden kann, dass beide Methoden ähnlich gerichtete Trends liefern (Wackernagel et al., 2004a).

Die Verwendung der Einheit „physische Hektar“ statt „Globale Hektar“ würde es ermöglichen, Studien zur Landnutzung besser an das Konzept des sozio-ökonomischen Metabolismus (und somit an Methoden wie zum Beispiel die Materialflussanalyse) anzubinden (Haberl et al., 2001).

Globale versus nationale Produktivitäten in Primär- und Sekundärprodukten

Wie Wiedmann und Lenzen (forthcoming) hervorheben, ergibt sich eine Inkonsistenz hinsichtlich der Verwendung von Faktoren zur Umrechnung von Primär- und Sekundärgütern in der aktuellen Berechnungsmethode (Wackernagel et al., 2005). Während Primärgüter (wie Getreide oder Holz) mit globalen Faktoren umgerechnet werden, werden bei Sekundärgütern (wie Lebensmittel oder Möbel) nationale Faktoren verwendet, welche die heimische Produktionsstruktur widerspiegeln. Steigerungen der Ökoeffizienz werden daher nur in der Produktion von Sekundärprodukten reflektiert, aber nicht in Primärprodukten. Während also der Fußabdruck schrumpft, wenn ein Bäcker aus einem Kilogramm Mehl mehr Brot herstellt, bleiben Änderungen der Bewirtschaftungsweise in Land- und Forstwirtschaft ohne Auswirkungen auf den Fußabdruck, da mit globalen Durchschnittswerten gerechnet wird. Der Fußabdruck in seiner derzeitigen Form ist daher „blind“ gegenüber Veränderungen im Management von biotischen Rohstoffen und Primärgütern. Wiedmann und Lenzen (forthcoming) schlagen daher vor, für alle Produktkategorien entweder nur globale oder nur nationale Faktoren zu verwenden, um tatsächliche Vergleichbarkeit zu erlangen.

Direkte versus indirekte Landbelegung

In den herkömmlichen Fußabdruckberechnungen beziehen sich die erfassten Landflächen hauptsächlich auf jene Bereiche, die direkt von den Haushalten in Anspruch genommen wurden bzw. von den Produzenten direkt benötigt wurden, um Konsumgüter zu erzeugen.

Außerdem zeigen National Footprint Accounts den Ökologischen Fußabdruck als aggregierte Größe für ein gesamtes Land, die keine Detailaussage über den Fußabdruck von Wirtschaftssektoren oder von bestimmten Endnachfragekategorien oder Konsumaktivitäten erlaubt. Daher ist es nicht möglich, die indirekten Ressourcenflüsse und Umwelteinflüsse, die aufgrund der vielfältigen Beziehungen zwischen den einzelnen wirtschaftlichen Aktivitäten bestehen, darzustellen. So werden beispielsweise bei der Berechnung der Fußabdrücke von Dienstleistungen nur die direkt verwendeten Ressourceninputs erfasst, die bei Dienstleistungen im Allgemeinen sehr gering sind. Die indirekten Ressourcenströme, die entstehen, weil zur Erstellung der Dienstleistung zahlreiche Zwischenprodukte und Inputs von anderen Sektoren bezogen werden müssen, werden nicht berücksichtigt. Jene indirekten Ressourcenerfordernisse erklären jedoch einen großen Teil des Ressourcenverbrauchs von Dienstleistungen und dürfen deshalb bei der Bestimmung des gesamten Ressourcenverbrauchs nicht übergangen werden.

Mit Hilfe von Input-Output-Modellen ist es möglich, auch die indirekten Ressourcenerfordernisse zu erfassen. Es gibt bereits erste Versuche, die National Footprint Accounts mit Input-Output-Modellen verbinden (Bicknell et al., 1998; Simmons et al., 2006a; Wiedmann et al., 2006c). Input-Output-Modelle basieren auf dem Grundgedanken, dass Änderungen der gesamtwirtschaftlichen Endnachfrage nicht nur direkte sondern auch indirekte Wirkungen auf volkswirtschaftliche Größen induzieren (Miller and Blair, 1985). Sie ermöglichen eine sehr detaillierte Analyse, da sowohl der Produktionsbereich als auch der Nachfragebereich aufgeschlüsselt wird. Außerdem können Importe und Exporte in der Analyse berücksichtigt werden und verbessern dadurch die Berechnung von „ökologischen Defiziten“ oder „ökologischen Guthaben“ (Lenzen and Murray, 2003).

Die Berücksichtigung des Tourismus

RPA (2005) diskutieren die Art und Weise, wie Tourismus in Fußabdruckstudien berücksichtigt wird. In den meisten Studien wird der Verbrauch der Touristen dem Urlaubsland angerechnet und nicht den Herkunftsländern der Touristen, was einen

Widerspruch zum allgemeinen Zurechnungsprinzip darstellt. In einigen Studien wurden jedoch Korrekturen angewandt. Diese beruhen auf zwei Hauptannahmen: (1) dass alle Touristen per Flugzeug reisen und (2) dass Touristen im Urlaub gleiche Konsummuster zeigen wie daheim (wobei Studien zeigen, dass dies meist nicht der Fall ist).

Mögliche Ansätze zur Korrektur des Fußabdrucks sind:

- Ein Aufteilen des (gleichen) gesamten Fußabdrucks eines Landes einerseits auf die Bevölkerung ohne Touristen und im Vergleich auf die Bevölkerung plus Touristen.
- Die Berechnung des Fußabdruckanteils der Touristen und eine Präsentation des Fußabdrucks eines Landes mit und ohne diesen Anteil.
- Ein vollständiges Herausrechnen des Fußabdruckanteils von Touristen.

Die letzten beiden Methoden sind jedoch oft nur unvollständig umsetzbar. Zum Beispiel kann der Verbrauch bei Mobilität und Ernährung angepasst werden, während der Anteil des Energieverbrauchs (z.B. durch Hotels oder andere Dienstleistungen) nicht korrigiert wird.

4.1.6. Der Fußabdruck von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Berechnungsmethode für den CO₂-Fußabdruck fossiler Energieträger

Einer der Hauptkritikpunkte an der Berechnungsmethode des Ökologischen Fußabdrucks betrifft die Energiekomponente, die für die meisten Industriestaaten über 50% des gesamten Fußabdrucks ausmacht (RPA, 2005; van den Bergh and Verbruggen, 1999). Auch ist dieser Teil des Fußabdrucks für einen Großteil des gesamten Wachstums seit 1960 verantwortlich (EAI, 2002). Kernpunkt ist die Umrechnung der aus der Nutzung fossiler Energieträger emittierten CO₂ Mengen und ihrer Umrechnung in Flächenbelegung über die Landfläche, die benötigt würde, um das aus der Nutzung fossiler Energieträger emittierte CO₂ in Waldflächen vollständig zu binden. Damit stellt die Fläche für die Nutzung fossiler Energieträger im Fußabdruckkonzept keine reale, sondern eine hypothetische Flächenbelegung dar.

Kritiker der Methode kommentieren, dass diese Berechnungsmethode das Interesse der Proponenten des Fußabdrucks widerspiegeln, das Konzept einer „starken Nachhaltigkeit“ anzuwenden, das davon ausgeht, dass gegenwärtige Generationen für die Akkumulation (bzw. Sequestrierung) der von ihnen emittierten CO₂-Mengen Verantwortung tragen müssen (RPA, 2005).

Manche Autoren (EAI, 2002) stellen CO₂-Emissionen nur als temporäres Problem dar, das mit fortschreitender technologischer Entwicklung beseitigt und daher vom Fußabdruck überbewertet würde. Dem ist entgegenzuhalten, dass sowohl die möglichen langfristigen Folgen eines anthropogenen Klimawandels gegen einen derart sorglosen Umgang sprechen, wie auch, dass selbst, wenn es sich um ein temporäres Problem handeln würde, dieses Problem in den heutigen Indikatoren für ökologische Nachhaltigkeit seine Abbildung finden muss.

Van den Bergh und Verbruggen (1999) kritisieren weiters, dass sich der Fußabdruck nur auf die Emissionsproblematik der Energienutzung und nicht auf die Knappheit fossiler Energieträger bezieht. Die beiden Autoren sehen im Zusammenhang mit der Methode drei Problembereiche: (1) dass möglicherweise nicht genug Landfläche zur Verfügung steht, um die notwendigen Waldflächen tatsächlich zur Verfügung zu stellen, (2) dass diese Lösung von der Verfügbarkeit und den Landkosten, sowie von der Produktivität der Aufforstung abhängt und (3) dass diese Methode den ökonomischen Grenzkostenansatz nicht berücksichtigt, der dazu führen könnte, dass in Zukunft andere und billigere Methoden der

CO₂-Sequestrierung eher Anwendung finden könnten, als die Sequestrierung über Waldflächen.

Reduktion des Energiefußabdrucks durch neue Technologien

Einige Autoren (zum Beispiel, Ayres, 2000; EAI, 2002) kritisieren, dass die Berechnungsmethode des Energiefußabdrucks – und hier vor allem die anteilmäßig bedeutende CO₂-Komponente – einen zu großen Einfluss auf das Gesamtergebnis hätte.

Sie präsentieren alternative Berechnungsmethoden, die die Energiefläche über das Potential erneuerbarer abiotischer Energieträger (z.B. Windenergie, Geothermie) berechnet. Diese Methode führt – verglichen mit der CO₂-Sequestrierung – zu einem wesentlich niedrigeren Flächenbedarf zur Bereitstellung gleicher Energiemengen, nicht zuletzt deswegen, weil die Energiebereitstellung auch auf nicht-produktiven Flächen erfolgen kann (z.B. Wüsten oder auf See) und damit keine für andere Zwecke nutzbare (bio-)produktive Flächen auf der Erde verbrauchen würde.

In der Kritik an der Berechnung der Energiekomponente des Fußabdrucks werden immer wieder auch andere (zukünftige) Formen der CO₂-Sequestrierung erwähnt (z.B. Abpumpen in Ozeane oder in Öl- und Gaslagerstätten), die in der derzeitigen Berechnungsmethode nicht berücksichtigt sind und die Waldflächen für die Sequestrierung reduzieren könnten. Diese Arten der CO₂-Sequestrierung werden aber heute noch nicht angewandt und können daher konsequenterweise auch in aktuellen Fußabdruckberechnungen keine Beachtung finden. Die Berechnungsmethoden könnten zukünftig geändert werden, sobald diese Sequestrierungsformen tatsächlich zu Anwendung kommen. Darüber hinaus sind diese Methoden (z.B. die Ablagerung am Ozeanboden) keineswegs unkritisch zu betrachten und ökologische Konsequenzen heute noch nicht geklärt.

Alternative Berechnungsmethoden für den Energiefußabdruck führen jedoch zu einer dramatischen Veränderung des globalen Gesamtfußabdrucks, der gemäß diesen Annahmen seit 1960 nahezu gleich blieb. Darüber hinaus weisen sie einen leichten Rückgang in Projektionen bis 2050 unter der Annahme technologischer Weiterentwicklung erneuerbarer abiotischer Energieträger aus, während der Fußabdruck nach der Originalmethode seit den 1960ern und in den Zukunftsprojektionen einen stetigen Anstieg zeigt. Die Berechnung von Szenarien mit unterschiedlichen Annahmen zum Energiemix ist daher ein wichtiger Punkt methodischer Weiterentwicklungen (siehe dazu Kapitel 5.2).

Die Berücksichtigung von Technologieänderungen

An der Berechnung der Energiekomponente wird immer wieder kritisiert, dass diese Formen einer CO₂ ärmeren Energieerzeugung sowie technischen Fortschritt und somit das Potential zur Reduktion des Fußabdrucks nicht berücksichtigen (Ayres, 2000; EAI, 2002). Dem muss entgegnet werden, dass solche Formen der Energieerzeugung sehr wohl berücksichtigt werden – in dem Ausmaß, in dem sie heute mit gegebenen Technologien angewendet werden. Andere Formen der Energieerzeugung und technologischer Fortschritt (z.B. zur Steigerung der Energieeffizienz) könnten in Zukunft den Einsatz fossiler Energieträger und die Emissionsmengen von CO₂ reduzieren und würden damit auch bei Anwendung der bestehenden Fußabdruckmethode den Ökologischen Fußabdruck reduzieren.

Mit der geringen Berücksichtigung technologischer Veränderungen vor allem im Energiebereich wird der Fußabdruck als statisches Konzept kritisiert, das keine Grundlage für Politikmaßnahmen und -planung bieten könne (Ayres, 2000; EAI, 2002). Der Fußabdruck ist jedoch explizit ein Instrument zur Messung des Naturverbrauchs zu einem gegebenen Zeitpunkt und kann durchaus technologische Veränderungen der Zukunft widerspiegeln.

Ähnliche Kritik ließe sich auf jede Art von Indikatoren (Umweltindikatoren oder auch das Bruttosozialprodukt) anwenden, die immer den Zustand einer Gesellschaft zu einem gegebenen Zeitpunkt mit einer definierten Methode erheben.

Die Berücksichtigung nicht-fossiler Energieträger

Für unterschiedliche Energieträger wendet das Fußabdruckskonzept unterschiedliche Methoden an, um diese in den Indikator einzubeziehen (siehe auch Kapitel 2).

- Die Fläche für energetisch verwendete Biomasse wird bei der Berechnung des Fußabdrucks der Waldkomponente zugerechnet.
- Kernenergie wird mit derselben Methode in Flächen umgerechnet, wie der CO₂-Fußabdruck. Hierzu wird die Energiemenge aus Nuklearenergie in Flächen für CO₂-Absorption umgelegt, die notwendig wäre, würde dieselbe Energiemenge aus fossilen Energieträgern gewonnen werden. Dies führt zu Kritik, da Kernenergie oft als CO₂-ärmer angesehen wird als fossile Energie.
- Der Anteil der Wasserkraft wird über die von Dämmen und Staubecken belegte Fläche ermittelt und der Kategorie „built-up land“ zugerechnet.

Kritiker (zum Beispiel RPA, 2005) argumentieren, dass sich in diesen Annahmen eine Verpflichtung der Entwickler des Fußabdrucks zum Konzept einer „starken Nachhaltigkeit“ widerspiegeln, die auch verhältnismäßig flächensparenden Energieträgern mit großen Umweltfolgen und Auswirkungen auf zukünftige Generationen (insbesondere die Kernenergie) eine große Fläche im Fußabdruck zuteilt.

Das Global Footprint Network argumentiert, dass die Berechnung der Kernenergie über Ausgleichsflächen nur eine Zwischenlösung sei. Ein möglicher Ansatz wäre es, den Fußabdruck aus der Kernenergie nicht als Landnutzungskategorie zu definieren, sondern als Konsumkategorie (als Elektrizität aus Kernkraftwerken).

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass dem Global Footprint Network all diese Kritikpunkte bewusst sind und laufend an einer Verbesserung der Methode gearbeitet wird. Aktuell wird von einer großen Gruppe von Fußabdrucksexperten aus dem Global Footprint Network an einer Definition zukünftiger Forschungsagenden für eine weitere Verbesserung gearbeitet (siehe auch Kapitel 5.2).

4.1.7. Globale Auswirkungen und die Rolle des internationalen Handels

Fehlende geografische Zuordnung von Handelsströmen und Umweltauswirkungen

Vor allem aufgrund mangelnder Datengenauigkeit ermöglicht die derzeitige Berechnungsmethode keine geografische Zuordnung von Handelsströmen bzw. von Umweltauswirkungen, die durch den Fußabdruck einer Region oder eines Landes verursacht werden.

Aufgrund des internationalen Handels sind die Auswirkungen der mit der Produktion und dem Konsum von Gütern und Dienstleistungen verbundenen Umweltbelastungen über den gesamten Planeten verteilt. Der Fußabdruck kann diese Auswirkungen jedoch geografisch nicht spezifizieren, da der für den internationalen Handel verwendete Datensatz keine Aufschlüsse darüber gibt, aus welchen Ländern und Weltregionen die importierten Produkte eines Landes stammen.

Dadurch kann derzeit noch keine Aussage über die Verteilung der Umweltbelastungen zwischen Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern abgegeben werden, die sich aus einer internationalen Arbeitsteilung auf globalen Märkten ergibt. Diese gewinnt jedoch aus Sicht der Nachhaltigkeitsbewertung zunehmend an Bedeutung, da etwa die europäische Wirtschaft in zunehmendem Maße die Extraktion von natürlichen Ressourcen innerhalb ihrer Grenzen reduziert und stattdessen ressourcen-intensive Produkte aus anderen Weltregionen importiert (Giljum and Eisenmenger, 2004; Schütz et al., 2004).

Es ist explizites Ziel der im Global Footprint Network zusammengeschlossenen Institutionen, diesen Aspekt in zukünftigen Weiterentwicklungen zu verbessern. Ein erster Versuch wurde in zwei Studien des Global Footprint Network aus dem Jahre 2005 unternommen. In der Studie des Fußabdrucks von Europa (WWF et al., 2005a) wird eine Weltkarte präsentiert, welche in qualitativer Weise die Ursprungsländer der wichtigsten Rohstoffe zeigt, die nach Europa importiert werden. In der Studie zur asiatisch-pazifischen Region (WWF et al., 2005b) wird für die Länder China, Japan und Thailand in quantitativer Form dargestellt, in welche anderen Länder Biokapazität exportiert wird. Jedoch wird auch hier angemerkt, dass nur ein Teil der exportierten Biokapazität auch tatsächlich aus diesen Ländern stammt, während der restliche Anteil wiederum aus anderen Ländern (v.a. in Form von Rohstoffen aus Entwicklungsländern) importiert wird.

Um die Verflechtungen über internationale Produktionsketten in den Berechnungen vollständig berücksichtigen zu können, wäre die Anwendung eines multi-regionalen Wirtschaft-Umwelt-Modells notwendig, welche die indirekten („embodied“) Umwelterfordernisse von gehandelten Gütern berechnen könnte (Giljum, 2005; Wiedmann et al., 2006a).

Weltdurchschnittsdaten für indirekte Energie gehandelter Güter

In den konventionellen Footprint Accounts wird der in den gehandelten Gütern beinhaltetete indirekte („embodied“) Fußabdruck berechnet, in dem die physische Menge an Importen mit einem Koeffizienten (gha/Tonne) multipliziert wird, der die mittels Lebenszyklusanalyse (Life cycle assessment, LCA) ermittelten Energieerfordernisse bzw. Emissionsintensitäten entlang des gesamten Produktlebenszyklusses widerspiegelt. Derzeit existiert in den Footprint Accounts für alle Länder nur ein einziger Datensatz zu diesen Koeffizienten, das heißt, die Fußabdruck-Intensität des Imports eines bestimmten Produktes ist unabhängig von allen umweltrelevanten Faktoren im exportierenden Land. Zu diesen zählen unter anderem der Einsatz bestimmter Technologien in den Extraktionssektoren, Energieeinsätze und Energiemix in der Verarbeitung von Rohstoffen und Produkten sowie die Transportintensität. Es macht daher keinen Unterschied, aus welchem Land oder welcher Weltregion ein Produkt importiert wird, was einer groben Vereinfachung der realen Situation entspricht und signifikante Fehler verursachen kann. Durch diese Vereinfachung kann auch keine Aussage darüber getroffen, wie eine Veränderung der Handelsstruktur den Ökologischen Fußabdruck eines Landes betreffen würde (Lenzen and Murray, 2003).

Auch das Global Footprint Network räumt im jüngsten Living Planet Report (WWF et al., 2006) ein, dass die nationalen Fußabdrücke dadurch verzerrt werden, dass die natürlichen Ressourcen sowie die Abfälle von exportierten Gütern nicht hinreichend in die Berechnungen einbezogen sind. Dies betrifft vor allem jene Länder, deren Handelsflüsse im Vergleich zur heimischen Wirtschaft sehr groß sind.

Jedoch wird auch diese bisherige Schwäche vom Global Footprint Network explizit als solche benannt und Weiterentwicklungen der Handelskomponente im Fußabdruck

angekündigt. Auch ist es beabsichtigt, in Zukunft auch den Fußabdruck von gehandelten Dienstleistungen mit einzubeziehen.

Zuletzt muss angemerkt werden, dass die fehlende Verfügbarkeit von Handelsdaten und ihren indirekten Umweltauswirkungen kein alleiniges Problem der Footprint Accounts darstellt. Auch im Bereich anderer Umweltrechensysteme (z.B. der Materialflussanalyse auf nationaler Ebene) wird dieses Problem vielfach thematisiert (siehe Giljum et al., 2006).

Handel versus Autarkie

Kritiker des Fußabdruckkonzeptes argumentieren, dass das Konzept ein negatives Vorurteil gegenüber internationalem und interregionalem Handel besitze und daher kein objektiver Indikator sei, da es den Fußabdruck einer bestimmten Bevölkerung mit der in der Region bzw. in dem Land selbst verfügbaren Biokapazität vergleicht. Diese würde zur Interpretation führen, dass Autarkie die gewünschte Lösung sei (van den Bergh and Verbruggen, 1999). Unter Ausnutzung komparativer Vorteile (etwa der reichlichen Ausstattung von natürlichen Ressourcen in Ländern wie Kanada oder Australien) könne internationaler Handel dazu beitragen, die mit der Produktion von Gütern verbundenen Umweltbelastungen auf jene (Welt-)Regionen mit den am wenigsten sensiblen Ökosystemen zu verteilen (van den Bergh and Verbruggen, 1999).

Wackernagel und Kollegen argumentieren hingegen, dass der Fußabdruck keineswegs prinzipiell negativ gegenüber internationalem Handel eingestellt sei. Sie betonen jedoch, dass der immer intensivere internationale Handel in vielen Fällen nicht zur Verringerung, sondern zur Verstärkung von Umweltbelastungen und zu noch schnellerer Ausbeutung der natürlichen Ressourcen auf diesem Planeten führe (Wackernagel and Giljum, 2001). Außerdem stelle das Fußabdruckskonzept nur klar, dass auf einem begrenzten Planeten nicht alle Nationen Nettoimporteure von natürlichen Ressourcen sein können (Lewan and Simmons, 2001). Und aufgrund der stark steigenden Nachfrage nach Ressourcen von neuen Industrienationen wie China und Indien werden nun neue Großmächte zu Nettoimporteuren, was den Druck auf die globalen Ressourcen deutlich verstärken wird.

4.2 Bewertung der Aussagekraft und Interpretierbarkeit des Indikators

Jenseits der Frage der Qualität verwendeter Daten und Berechnungsmethoden stellt sich die grundsätzlichere Frage, welche Aussagekraft das Konzept des Ökologischen Fußabdrucks besitzt und welche Schlüsse sich aus den Berechnungen des Indikators ziehen lassen. Der vorliegende Teil des Berichts erörtert diese Frage entlang ausgewählter Aspekte, die in der gegenwärtigen Fußabdruck-Diskussion eine besondere Rolle spielen: des Konzepts vom „Globalen Hektar“, der Unterscheidung zwischen Ökologischen Fußabdrücken der Produktion und des Konsums sowie des Konzepts des Ökologischen Defizits.

4.2.1. Vor- und Nachteile der Einheit „Globaler Hektar“

Der Globale Hektar wird in den Footprint Accounts als Standardeinheit verwendet (siehe Kapitel 2). Die Einführung dieser Recheneinheit ermöglicht es, biologische Ressourcen und ihre Nutzung in Flächeneinheiten abzubilden, sie in dieser Form zu aggregieren und weltweit vergleichbar zu machen. In anderer Hinsicht bringt die Standardisierung Einschränkungen der Aussagekraft mit sich. Die Vor- und Nachteile der Einheit „Globaler Hektar“ werden nachstehend diskutiert.

Vorteile

Landfläche ist eine leicht verständliche Größe. Der Globale Hektar ermöglicht den Gebrauch des Hektar als einer leicht fassbaren Flächeneinheit, um das komplexe und abstrakte Konzept der „Biokapazität“ zu veranschaulichen. Die Popularität des Ökologischen Fußabdrucks ist in einem hohen Maße auf die Anschaulichkeit von Landfläche als Maßstab für den Ressourcenverbrauch zurückzuführen.

Einheitliche Messgröße. Ein Schlüsselvorteil des Globalen Hektars ist zugleich der Grund für seine Einführung: Er schafft eine Standardflächeneinheit zur Berechnung des Verhältnisses zwischen der biologisch produktiven Fläche der Erde und der Beanspruchung von Ressourcen durch den Menschen. Als internationaler Standard ermöglicht der Globale Hektar außerdem Vergleiche zwischen den Ökologischen Fußabdrücken unterschiedlicher Länder.

Nachteile

Globale Hektar sind keine realen Hektar. Es handelt sich um eine Konvention, die nicht die physische Realität abbildet. Das Konzept des Globalen Hektar und seine Beziehung zu tatsächlichen Hektar wird in der Berichterstattung des Ökologischen Fußabdrucks erläutert, ist aber dennoch nicht unmittelbar verständlich. Die Zahl Globaler Hektar eines Landes entspricht nicht seiner realen biologisch produktiven Fläche, weil die durchschnittliche Biokapazität eines Landes sich von der durchschnittlichen globalen Biokapazität unterscheidet.

Reale Landnutzungsprobleme können nicht direkt analysiert werden. Das hat vor allem zwei Gründe:

- Durch die Aufrechnung von realen (Nahrung, Holz, bebautes Land) und hypothetischen Flächen (CO₂-Absorption) ist es im aggregierten Indikator nicht mehr möglich, zwischen realer und hypothetischer Landnutzung zu unterscheiden.
- Durch die Verwendung der Einheit Globaler Hektar können regionale/nationale Aspekte der Landnutzung nicht einbezogen werden.

Es lässt sich beispielsweise keine Aussage darüber treffen, wie viel eigene Fläche eines Landes für den inländischen Konsum in Anspruch genommen wird, weil nicht erkennbar ist, wie sich der Ökologische Fußabdruck des Konsums zwischen dem eigenen Land und anderen Ländern verteilt. Der Nachteil der Verwendung einer abstrakten Messgröße wird besonders deutlich bei Betrachtungen einzelner Sektoren, wo Daten, die die Ressourcenentnahme von tatsächlichen Flächen abbilden, eine bessere Analyse der realen Landnutzungsprobleme ermöglichen würden. Dadurch, dass bebautes Land (*built-up land*) in gleicher Weise in Globale Hektar umgerechnet wird wie Ackerland (*cropland*), wird zudem die reale Dimension der Landnutzung für Infrastruktur nicht erkennbar. Das politische Ziel der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, die Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr zu verringern, könnte daher beispielsweise mit dem Ökologischen Fußabdruck nicht erfasst werden.

Weitere zentrale Punkte, die bereits in Kapitel 4.1 ausführlich behandelt wurden, sind:

Uneinheitliche Umrechnungsfaktoren. Die Ermittlung der Ertrags- und Äquivalenzfaktoren setzt Annahmen voraus, die zwischen existierenden Fußabdruck-Studien stark variieren. Die allmähliche Verbesserung der Methode zur Ermittlung von Ertrags- und Äquivalenzfaktoren wird auch dazu führen, dass sich die Größe des Ökologischen Fußabdrucks gegenüber

früheren Studien ändert, ohne dass dies mit tatsächlichen Änderungen der verfügbaren Menge biologischer Ressourcen oder deren Nutzung verbunden wäre.

Primär- und Sekundärerzeugnisse werden unterschiedlich behandelt. Wie Wiedmann und Lenzen (forthcoming) ausführen, sind die für Primärerzeugnisse beanspruchten Globalen Hektar weltweit identisch, während die Energiekomponente des Ökologischen Fußabdrucks von Sekundärerzeugnissen sich je nach der Zusammensetzung der in einem Land verwendeten Energieträger unterscheidet.

Beim Energiegehalt von Importen wird nicht nach Ursprungsländern unterschieden. Ein Problem im Zusammenhang mit der Energiekomponente von Sekundärprodukten besteht darin, dass importierten Produkten ein globaler Mittelwert enthaltener Energie unterstellt wird, während der Fußabdruck der für inländische Produkte eingesetzten Energie in Abhängigkeit von den nationalen Gegebenheiten bestimmt wird.

4.2.2. Fußabdruck des Konsums oder der Produktion?

Der Ökologische Fußabdruck lässt sich flexibel sowohl als aggregierte Messgröße für den Konsum als auch für die Produktion eines Landes einsetzen. Bisher wurde er in der Regel herangezogen, um den mit Konsum verbundenen Ressourcenverbrauch zu ermitteln. Die nationalen Fußabdruck-Berechnungen im Living Planet Report werden ebenso in diesem Sinne dargestellt wie die frei verfügbaren Berechnungsmethoden für den Ökologischen Fußabdruck von Einzelpersonen oder Haushalten, oder die „Fußabdrücke“ von Städten und Regionen. Unternehmen und Wissenschaftler arbeiten jedoch daran, den Ökologischen Fußabdruck für eine Verwendung als Indikator des Ressourcenverbrauchs für die Produktion anzupassen (Lenzen et al., 2006). Im Folgenden werden Konzeption und Aussagekraft von Konsum- und Produktionsfußabdrücken einander gegenübergestellt.

Vorteile von Konsum-Fußabdrücken

Der Konsum-Fußabdruck schließt die damit verbundene Produktion ein. Anders als man zunächst vermuten könnte, decken Konsum- und Produktionsfußabdrücke keine vollständig voneinander getrennten Bereiche ab. Konsum-Fußabdrücke wie die nationalen Fußabdruckberechnungen erfassen Ressourcen, die entlang der Produktionskette konsumierter Güter verbraucht wurden. Der nationale Fußabdruck schließt dadurch die Ressourcen ein, die für die Produktion der von einer Nation konsumierten Güter eingesetzt wurden. Hinzu kommen die Ressourcen, die für die Verteilung der Güter aufgewendet wurden, sowie – im Falle von CO₂ – die Ressourcen, die benötigt werden, um Abfallstoffe zu absorbieren. Diese Art des „Fußabdrucks“ schließt also sowohl den mit Konsum als auch mit Produktion verbundenen Ressourcenverbrauch ein.

Der Konsum-Fußabdruck richtet sich an Verbraucher. Der Ressourcenverbrauch für die Konsum- und Nach-Konsum-Stadien eines Produkts ist oft vernachlässigbar gering gegenüber dem Produktionsstadium. Die mit dem Produktlebenszyklus verbundenen Ressourcenaufwendungen sind meistens für den Verbraucher nicht transparent, und Umweltpolitik richtet sich relativ selten auf die Konsumseite. Der Ökologische Fußabdruck ist geeignet, den Zusammenhang zwischen Konsum und den für die Produktion aufgewendeten Ressourcen zu verdeutlichen und kann deswegen eine Grundlage für eine am Konsumverhalten orientierte Umweltpolitik bilden.

Der Konsum-Fußabdruck schließt den Ressourcenverbrauch jenseits nationaler Grenzen ein. Der Ressourcenverbrauch im Ausland für den heimischen Konsum hat durch die Ausweitung des internationalen Handels zugenommen. Die wachsende Bedeutung eines

globalen Ressourcenmanagements zeigt sich an Umweltproblemen, die im Weltmaßstab auftreten (wie dem Klimawandel) und den parallel sich entwickelnden internationalen Lösungsansätzen.

Ökologische Fußabdrücke der Produktion und ihre Vorteile

Obwohl es noch keinen standardisierten Produktions-„Fußabdruck“ auf Basis der inzwischen als Standard angewendeten Komponentenmethode gibt, könnte er auf einfache Weise von der allgemeinen Formel zur Berechnung nationaler Fußabdrücke abgeleitet werden. Wie in Kapitel 2 näher ausgeführt, summiert die Formel für den nationalen Fußabdruck als Konsumindikator die Ressourcenaufwendungen für inländische Produktion, Importe und Bestandsänderungen und zieht davon die Exporte ab. Ein nationaler Produktions-Fußabdruck könnte aus dem Ressourcenverbrauch der heimischen Produktion unter Berücksichtigung der Bestandsänderungen berechnet werden.

Die auf Grundlage dieser Formeln berechneten Konsum- und Produktionsfußabdrücke einer Nation ließen sich nicht zu einer Messgröße für den gesamten Ressourcenverbrauch addieren, da dies mit Doppelzählungen verbunden wäre. Sie könnten jedoch unabhängig voneinander zur Unterstützung unterschiedlicher politischer Zielsetzungen verwendet werden.

Vorteil: Der Produktions-Fußabdruck bildet den Ressourcenverbrauch innerhalb der Grenzen nationaler Gesetzgebung ab. Die in der gegenwärtigen Fußabdrucks-Berechnung berücksichtigte Produktion schließt die Produktion ausländischer Güter ein, während die inländische Produktion für den Export nicht mit einbezogen wird. Solange der Ökologische Fußabdruck beim Konsum nicht zwischen in- und ausländischen Produkten differenziert, eignet er sich nicht als Hilfsmittel zur Begründung oder Überprüfung politischer Maßnahmen, die die Verringerung des Ressourcenverbrauchs der Produktion zu Ziel haben. Ein nationaler Produktions-Fußabdruck würde sich besser für Regulierungen auf der Angebotsseite eignen, da er mit dem Einschluss exportierter Güter den gesamten Ressourcenverbrauch der Produktion innerhalb der nationalen Grenzen erfasst.

Auch könnte ein Produktionsfußabdruck etwa eine differenziertere Betrachtung des Themas „Tourismus“ ermöglichen, da Tourismus-Zielländer (wie etwa Österreich, Griechenland oder die Türkei) einen wichtigen Teil der nationalen Wertschöpfung aus der Tourismuswirtschaft generieren – ein Aspekt, der bei strenger Verfolgung des Konsumentenprinzips unberücksichtigt bleibt.

4.2.3. Die Bedeutung von ökologischem Defizit und „Overshoot“

Begriffsklärung

Ökologisches Defizit (*ecological deficit*): In der Terminologie des Ökologischen Fußabdrucks tritt ein ökologisches Defizit dann auf, wenn der Ökologische Fußabdruck einer Bevölkerung die Biokapazität überschreitet, die dieser Bevölkerung zur Verfügung steht. In der Anwendung auf nationaler Ebene bedeutet dies, dass der Ökologische Fußabdruck einer Nation die Biokapazität des Landes überschreitet. Diese Überschreitung wird dadurch möglich, dass Nationen entweder Ressourcen von außerhalb der Landesgrenzen importieren oder heimische Ressourcenbestände aufbrauchen. Der umgekehrte Fall, in dem die Biokapazität den Ökologischen Fußabdruck übersteigt, wird als Ökologische Reserve bezeichnet (GFN, 2006a).

Ökologische Überbeanspruchung (*ecological overshoot*): Ein ökologischer Overshoot tritt dann auf, wenn die Beanspruchung natürlicher Ressourcen durch die Menschheit insgesamt die Regenerationsfähigkeit der Biosphäre übersteigt. Der ökologische Overshoot ist gleichbedeutend mit dem globalen Ökologischen Defizit. Da keine biologischen Ressourcen von außerhalb des Planeten importiert werden können, wird der Overshoot durch den Verzehr des globalen ökologischen Kapitals ermöglicht (GFN, 2006a).

Global Anteil (*Earth share*). Ein zu den oben genannten Begriffen in Beziehung stehender Begriff ist jener des Earth share, der sich auf die durchschnittlich einer Person auf der Erde zur Verfügung stehende Biokapazität (in Globalen Hektar) bezieht. Er wird berechnet als die gesamte Biokapazität der Erde geteilt durch die Weltbevölkerungszahl. Nach der Berechnung des GFN lag der Erdanteil im Jahre 2003 bei 1,8 Globalen Hektar. Dies ist die Menge an Ressourcen, die bei gleicher Pro-Kopf-Zuteilung zu einem Gleichstand von Ökologischem Fußabdruck und Biokapazität führen würde.

Beurteilung

Als Indikator für den Verbrauch ökologischer Ressourcen stellt der Ökologische Fußabdruck eine ausdrückliche Verbindung zwischen den verbrauchten und den verfügbaren Ressourcen her. Die Begriffe „ökologisches Defizit“ und „ökologischer Overshoot“ sind damit zentrale Größen zur Beurteilung der ökologischen Nachhaltigkeit menschlichen Konsums.

Ökologischer Overshoot. Der Vergleich zwischen biologischen Ressourcen und ihrem Verbrauch durch die Menschheit zeigt eine deutliche Aufzehrung ökologischer Ressourcen und eine Verringerung der Biokapazität der Erde an. Der ökologische Overshoot ist damit ein eindeutiges Zeichen für ein Ungleichgewicht auf dem „ökologischen Konto“ des Planeten, das sich negativ auf die Ökosysteme auswirkt. In diesem Sinne erfüllt der Ökologische Fußabdruck eine nützliche Funktion als Leitindikator für globale Nachhaltigkeit.

Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, geht der Ökologische Fußabdruck vom Konzept der Starken Nachhaltigkeit aus, das menschengemachtes Kapital nicht als geeigneten Ersatz für natürliches Kapital ansieht. Diese Orientierung an der Erhaltung des natürlichen Kapitals der Erde macht den ökologischen Überschuss zur zentralen Größe der Fußabdrucks-Methodik. Kritiker der Starken Nachhaltigkeit argumentieren, dass der ökologische Overshoot durch Substitution des aufgebrauchten Naturkapitals mit menschengemachtem Kapital kompensiert werden kann. Dadurch ist es weniger klar, welche Folgerungen aus der Feststellung eines ökologischen Overshoot zu ziehen sind, wenn man nicht vom Konzept der Starken Nachhaltigkeit ausgeht.

Ökologisches Defizit. Fußabdrucks-Statistiken auf nationaler Ebene geben üblicherweise an, ob eine Nation ein ökologisches Defizit aufweist oder über eine ökologische Reserve verfügt. Auch vom Standpunkt der Starken Nachhaltigkeit ist jedoch das Konzept des ökologischen Defizits problematisch.

Die zentrale in diesem Zusammenhang diskutierte Frage ist, ob es Sinn macht, den Verbrauch in einem Land der Biokapazität dieses Landes gegenüberzustellen. Am Ökologischen Fußabdruck gemessen, haben Länder mit einem hohen Konsumniveau, die (wie etwa Kanada oder Finnland) gleichzeitig im Verhältnis zur Bevölkerungszahl reiche Bestände an biologischer Ressourcen aufweisen, kein Problem mit ihrem Ressourcenverbrauch, da er unterhalb ihrer Biokapazität bleibt. Andererseits können Länder mit sehr kleinen Pro-Kopf-Fußabdrücken, aber hoher Bevölkerungsdichte ein hohes ökologisches Defizit aufweisen, wie etwa Bangladesch. Welcher Schluss ist hieraus zu ziehen? Welche Rechte haben Menschen, um die Ressourcen ihres Landes zu gebrauchen und sie durch Handel zu ergänzen? Implizit ist in diesen Fragen das Konzept des Earth

Shares enthalten. Die Frage ist dementsprechend, wie die Ressourcen der Erde unter den Menschen aufgeteilt werden sollen.

Unterschiedliche Antworten auf diese Frage sind möglich, etwa die folgenden:

- Alle Menschen auf der Welt haben das Recht auf den gleichen Anteil biologischer Ressourcen, unabhängig von deren Herkunft. Dies ist auch die Grundlage des so genannten Umweltraumkonzepts (siehe SERI and FoEE, 2005).
- Menschen sollten nicht mehr biologische Ressourcen in Anspruch nehmen, als in ihrem eigenen Land vorhanden sind.
- Ein Mensch sollte nicht mehr biologische Ressourcen konsumieren, als seinem Erdanteil (je nach Definition auf globaler, nationaler oder regionaler Ebene) entspricht.
- Menschen, die große Mengen biologischer Ressourcen konsumieren, sollten ihren Verbrauch reduzieren, um Menschen mit geringem Verbrauch eine Steigerung ihres Verbrauchs zu ermöglichen, die damit ihre Armut überwinden können.

Die Methodik des Ökologischen Fußabdrucks macht selbst keine Aussage darüber, welche Folgerungen aus der Berechnung des Fußabdrucks zu ziehen sind. Sie erlaubt es lediglich, ökologisches Defizit oder ökologische Reserve zu ermitteln und kann dadurch politischen Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit wichtige Informationen liefern.

Die zur Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks zur Verfügung stehenden Daten erlauben es bisher auch nicht, Importe ihren Herkunftsländern zuzuordnen. Weiters basieren die gegenwärtigen Berechnungen des mit Importgütern verbundenen Fußabdrucks lediglich auf weltweiten Durchschnittswerten für Energieerzeugung und Flächenbedarf sowie die zur Ressourcenentnahme verwendeten Technologien (siehe dazu Kapitel 4.1).

Problematische politische Schlussfolgerungen sind nicht ausgeschlossen. Wie Haberl et al. (2001) feststellt, besteht die gängige politische Folgerung aus einer Fußabdrucks-Studie darin, dass der Ressourcenverbrauch gesenkt werden muss. Es wären jedoch auch andere Folgerungen möglich, insbesondere dass die Biokapazität je Hektar durch erhöhte Erträge oder die Umwandlung von Land in andere, „produktivere“ Nutzungstypen gesteigert werden sollte. So könnten intensivere Landbewirtschaftungsmethoden angewendet werden, um die Flächenerträge zu steigern, oder die Biokapazität könnte durch Umwandlung von Weideland in Ackerland erhöht werden. Solche Praktiken könnten zwar den ökologischen Überschuss, wie er durch den Ökologischen Fußabdruck ermittelt wird, reduzieren, wären aber unter Aspekten der Erhaltung von biologischer Vielfalt, die nicht durch den Ökologischen Fußabdruck abgebildet werden, kritisch zu beurteilen. Folglich sollte der Ökologische Fußabdruck nicht als ein allumfassender Maßstab für Entscheidungen über den angemessenen Umgang mit biologischen Ressourcen gesehen werden (siehe dazu Kapitel 5.3).

5 Empfehlungen

Dieses abschließende Kapitel beinhaltet Vorschläge zur Verbesserung der Datengrundlagen und der Berechnungsmethoden sowie Empfehlungen zur Anwendung des Indikators.

5.1 Vorschläge zur Verbesserung der Datengrundlage

5.1.1. Spezifische Vorschläge für den Ökologischen Fußabdruck

Um seinen vollen Nutzen zu entfalten, muss der Ökologische Fußabdruck auf verlässlichen Daten und genauen Rechnungen aufbauen. Die Entwickler des Ökologischen Fußabdrucks messen dieser Anforderung große Bedeutung bei und sind darum bemüht, die Datenqualität fortlaufend zu verbessern und nationale Institutionen in diesen Prozess einzubinden.

Beispielsweise rief das Global Footprint Network (GFN) im Jahre 2005 die Kampagne „Ten in Ten“ ins Leben, die darauf abzielt, den Ökologischen Fußabdruck bis 2015 in mindestens zehn Schlüsselnationen als nationalen Indikator zu etablieren. Durch die Aufwertung des Ökologischen Fußabdrucks zu einem zentralen offiziellen Indikator hofft man dessen Sichtbarkeit wesentlich zu verbessern.

Eine der Hauptansatzpunkte des GFN ist es, die Länder dazu anzuregen, auf hochrangiger Ebene Überprüfungen ihrer jeweiligen nationalen ökologischen Fußabdruckberechnung durchzuführen. Das GFN empfiehlt, dass diese Überprüfungen von den nationalen Regierungen initiiert, aber von unabhängigen Dritten (üblicherweise Forschungsinstitutionen des jeweiligen Landes) durchgeführt werden. Ziel ist, Ansätze zu finden, um sowohl die Daten als auch die Methodik zu verbessern, so dass der Ökologische Fußabdruck zu einem leistungsfähigen Instrument zur Formulierung politischer Ziele und Begründung von Maßnahmen im jeweiligen Land wird. So wurde etwa von der irischen nationalen Umweltbehörde in Zusammenarbeit mit Best Foot Forward (als unabhängiger Institution) die Genauigkeit der Handelsdaten der Footprint Accounts von Irland verbessert, welche die Basis für die nationale Fußabdruckberechnung des GFN bilden. Dies löste ähnliche Verbesserungen an den Fußabdruckberechnungen anderer Länder aus. Ferner wurde in Zusammenarbeit mit dem finnischen Umweltministerium die Berechnungsmethode für nationale Forstprodukte in den Footprint Accounts von Finnland verfeinert.

Daher ist die institutionelle Entscheidung über die Zusammenarbeit zwischen und die Aufteilung der Arbeit unter den Organisationen, die sich mit der Entwicklung und Beurteilung des Ökologischen Fußabdrucks beschäftigen, ein implizierter Bestandteil der Entscheidung, ob und in welchem Ausmaß man die Daten verbessert. Dabei muss angemerkt werden, dass man nicht unbedingt den Ökologischen Fußabdruck als nationalen Indikator übernehmen muss, um die folgenden Verbesserungen in der Datenqualität zu erreichen. Eine solche Vorgehensweise kann auch mit dem Argument gerechtfertigt werden, dass man verhindern möchte, dass Deutschland – aufgrund falschen nationalen Datenmaterials oder falscher Schlussfolgerungen daraus – durch diesen Indikator nicht korrekt dargestellt wird.

Fortlaufende Verbesserung der Transparenz und Verständlichkeit des Datenmaterials

Die Datenblatt-Vorlagen, die zum Berechnen des Fußabdrucks benutzt werden, sind unnötig kompliziert und erhöhen so den Aufwand, ihre Genauigkeit zu überprüfen und Verbesserungen daran vorzunehmen.

Nutzung von Sensitivitätsanalyse und früheren Ergebnissen, um richtige Priorisierungen vornehmen zu können

Die effizienteste Methode, um die Datenmenge zu priorisieren, ist es, die Daten heraus zu finden, die 1) den größten Einfluss auf das Endergebnis haben, oder 2) die mit der höchsten Wahrscheinlichkeit nicht korrekt sind. Die Anwendung der Sensitivitätsanalyse auf die Fußabdruck-Daten kann dabei helfen, diejenigen Faktoren mit dem größten diesbezüglichen Einfluss heraus zu finden. Einige dieser Faktoren, auf die besonderes Augenmerk gelegt werden sollte, wurden bereits in diesem Bericht identifiziert (siehe Kapitel 3.1). Die aktuelle Schweizer Studie zu nationalen und internationalen Daten, insbesondere der dazugehörige technische Report (Von Stokar et al., 2006a), enthalten einige Hinweise darauf, wie das Datenmaterial am besten zu priorisieren ist.

Abgleichung der Fußabdruck-Daten mit nationalen Statistiken (Fehlersuche)

Die einfachste Methode wäre, die Eckdaten, die zur Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks verwendet werden, mit den Daten abzugleichen, die aus nationalen Quellen zugänglich sind. Falls Fehler gefunden werden, kann man die richtigen Daten dem GFN übermitteln, damit die erforderlichen Änderungen vorgenommen werden können. Wenn die Fußabdrucks-Daten von der richtigen internationalen Quelle stammen, sich aber als falsch herausstellen, sollte die für die Veröffentlichung zuständige internationale Institution ebenfalls verständigt werden, damit das Datenproblem direkt an der Quelle korrigiert werden kann. Erwähnenswert ist hierzu, dass die Autoren der aktuellen Schweizer Studie zu den Fußabdrucks-Daten zu dem Schluss kamen, dass es nur im Fall der Landnutzungs-Daten sinnvoll ist, nationaler statt internationaler Daten zu verwenden (Von Stokar et al., 2006a). In allen anderen Fällen waren die Unterschiede so gering, dass es sich empfiehlt, bei internationalen Datenquellen zu bleiben, um die direkte internationale Vergleichbarkeit zu erhalten.

Vergleich alternativer Datensätze und Korrektur von Schätzungen

Eine größere Herausforderung ist es, sich jene Stellen in den National Accounts näher anzusehen, wo widersprüchliche Informationen aus unterschiedlichen Datensätzen eine Auswahl oder Durchschnittsberechnung nötig machen, um Daten für die Berechnung des Fußabdrucks zu erhalten. Um dieses Problem zu lösen, müsste man jene Positionen untersuchen, wo das Problem deutsche Daten betrifft. Darauf basierend müsste eine Empfehlung an das GFN ausgesprochen werden, welche Datenquellen oder -werte stattdessen zu verwenden sind. Das typische Beispiel für dieses Problem sind die widersprüchlichen Schätzungen der CO₂-Emissionen für Deutschland, die aus Berichten von CDIAC and IEA hervorgehen.

Ersetzung ungenauer Daten und Hypothesen (nationale Ebene)

Die Genauigkeit des Ökologischen Fußabdrucks könnte durch mehrere Punkte verbessert werden: durch genauere Daten, durch die Nutzung aktueller nationaler Daten an Stelle der momentan zur Schätzung der deutschen Daten verwendeten globalen Durchschnittswerte und durch einfachere Faktoren. Solche Annahmen treten in vielen Daten-Kategorien auf und viele dieser Hypothesen sind in diesem Report beschrieben (siehe Kapitel 3.1). Dies stellt eine große Herausforderung dar, da diese Daten naturgemäß schwieriger zu beschaffen sind, was auch die Anwendung von Hypothesen für die Berechnung des Fußabdrucks erklärt. Die Angleichung vieler Faktoren bedeutet, dass sowohl nationale als auch internationale Faktoren untersucht werden müssten, was eine zusätzliche Schwierigkeit

darstellt. Dies trifft etwa auf die Ertragsfaktoren zu, die benutzt werden, um die Äquivalenzfaktoren hinsichtlich der nationalen Unterschiede in der Landproduktivität zu bereinigen.

Will man dem Ökologischen Fußabdruck als nationalem Indikator Akzeptanz verschaffen, scheint dieser Schritt jedoch notwendig. Politiker/innen verlangen nach Indikatoren, welche tatsächliche Vorgänge und aktuelle Veränderungen reflektieren, denen sie möglicherweise ihre Aufmerksamkeit widmen müssen. Werden dagegen Hypothesen und Durchschnittswerte verwendet, verschleiern diese möglicherweise tatsächliche Entwicklungen mit der Folge, dass spezifische nationale Veränderungen im Dunkeln bleiben.

Überprüfung internationaler Hypothesen und Erhöhung der Detaillichte von handelsbezogenen Daten.

Die Nutzung internationaler Hypothesen und beschränkter Handelsdaten wurden in diesem Bericht als methodologische Probleme berücksichtigt (siehe Kapitel 4.1). Der Grund für die gegenwärtig benutzte Methodologie liegt hauptsächlich darin, dass die Daten, die die Auswirkung jeden Fußabdrucks auf die Importe und Exporte zwischen bestimmten Ländern messen, sehr komplex sind. Eine Verbesserung dieser Daten würde ein hohes Niveau an Engagement und signifikante Investitionen erfordern (siehe dazu auch Kapitel 5.2 unten).

5.1.2. Schaffung einer gemeinsamen Datenbasis für Indikatoren zur Ressourcennutzung

Ein zentrales Ziel zur Verbesserung der Datenqualität wäre die Schaffung einer gemeinsamen Datengrundlage für den Ökologischen Fußabdruck und andere verwandte Indikatoren im Bereich der Nutzung natürlicher Ressourcen (wie Indikatoren zum Material-, Energie- oder zum realen Landverbrauch).

Eine wichtige Initiative in diese Richtung wurde 2006 gestartet und fordert die Harmonisierung von Basisdaten der National Footprint Accounts und der Materialflussanalyse auf nationaler Ebene; letztere ist ein etablierter Teil integrierter Umweltrechensysteme auf deutscher und internationaler Ebene. Diese von SERI geleitete Initiative schließt das Global Footprint Network, Best Foot Forward, das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie sowie weitere Organisationen mit ein (siehe Sustainable Europe Research Institute et al., 2006).

In dieser Erklärung heben die beteiligten Institutionen hervor, dass die Erhaltung bzw. Erhöhung der Lebensqualität einer nach wie vor wachsenden Weltbevölkerung innerhalb der Möglichkeiten eines begrenzten Planeten die Schlüsselherausforderung für die Zukunft der Menschheit ist. Physische Berechnungen und davon abgeleitete Indikatoren sind unerlässliche Monitoring- und Analyse-Tools, um Material- und Energieflüsse durch unsere Ökonomien zu verstehen und zu managen. Sie sind für ein ressourcen- und energieeffizientes Europa unbedingt notwendig. Die Unterstützer dieser Initiative verlangen, die für Nachhaltigkeitspolitik, -forschung und -kommunikation unerlässliche Materialflussanalyse (MFA) als Kerninformationsbasis für wissenschaftliche und politische Analysen zu Ressourcenverbrauch und -produktivität zu stärken. Sie unterstreichen, dass eine stabile und gut dokumentierte statistische Basis der Materialflüsse essentiell für viele Kernbereiche der Nachhaltigkeitsforschung ist: CO₂- und Treibhausgas-Bilanzierung, Ökologische Fußabdrücke, Umweltraum sowie Berechnungen auf dem Mikrolevel (Materialinput pro Service-Einheit/MIPS sowie LCA).

Eine solche gemeinsame Datengrundlage für die Berechnung verschiedener Indikatoren zur Ressourcennutzung sollte so weit wie möglich öffentlich publiziert und transparent sein (siehe <http://www.materialflows.net> für einen ersten Ansatz zur Publikation von Daten zur Materialextraktion aller Länder der Welt). Sie sollte einerseits Daten zu Materialflüssen, zum Energieverbrauch, zu den klimawirksamen Emissionen, sowie zur realen Landnutzung beinhalten, andererseits alle Parameter und Faktoren auflisten, welche zur Berechnung der verschiedenen Indikatoren notwendig sind (etwa die Umrechnung von realen Hektar in Globale Hektar).

Dies würde die Transparenz der Berechnungen deutlich erhöhen, die Ermittlung von verschiedenen Indikatoren erlauben, welche einzelne Umweltkategorien in unterschiedlicher Weise gewichten und dadurch eine vergleichbare Betrachtung verschiedener Headline-Indikatoren zum Ressourcenverbrauch ermöglichen.

5.2 Methodische Weiterentwicklungen

5.2.1. Unterstützung des Forschungsprogramms des Global Footprint Network

Das Global Footprint Network und seine Partnerorganisationen arbeiten an der Ausarbeitung eines Forschungsprogramms zur Verbesserung der National Footprint Accounts (Wackernagel et al., 2006, siehe auch <http://www.footprintnetwork.org>). Die Ausarbeitung wird vom *National Accounts Committee* des GFN koordiniert und bei einer Konferenz zum Ökologischen Fußabdruck im Mai 2007 in Cardiff, UK, offiziell vorgestellt werden.

In diesem Forschungsprogramm werden drei Gruppen an Themen definiert, unter denen eine Vielzahl an Einzelpunkten diskutiert wird. Diese drei Themengruppen sind (a) die Verbesserung der derzeitigen Berechnungsgrundlagen (Basisdaten, Sensitivitätsanalyse, etc.), (b) die Verbesserung der Transparenz und Dokumentation sowie (c) wichtige methodische Weiterentwicklungen.

Punkt (a) wurde bereits in Kapitel 5.1 ausführlich behandelt. Punkt (b), die Verbesserung der Transparenz der zugrunde liegenden Annahmen sowie der Dokumentation, ist eines der wichtigsten Ziele und alle geplanten Aktivitäten in diese Richtung sollten volle Unterstützung erhalten. Diese umfassen (siehe Wackernagel et al., 2006):

- die Herausgabe eines detaillierten Methodenhandbuchs, das es Benutzer/innen ermöglichen soll, alle Rechenschritte selbstständig nachzuvollziehen, um die Resultate zu verifizieren; die Erstellung der Footprint-Standards sind ein Schritt in diese Richtung;
- die Übersetzung der Footprint-Standards in mehrere Sprachen (bislang sind sie nur auf englisch verfügbar);
- eine Beschreibung des Hintergrunds für methodische Entscheidungen (etwa wieso CO₂-Emissionen mittels Absorption in Wäldern verrechnet wird) und
- die Erarbeitung eines Bewertungssystems für die National Accounts, die Benutzer/innen die Qualität der Ergebnisse kommunizieren soll.

Hinsichtlich Punkt (c) werden in diesem Dokument viele der in Kapitel 4 diskutierten methodischen Kritikpunkte aufgegriffen, so etwa die Frage der Einbeziehung von CO₂ über Absorptionsflächen, die Frage der tatsächlichen versus Globalen Hektar oder die Frage der Produzenten- versus Konsumentenverantwortung. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass hinsichtlich dieser methodischen Problembereiche in den nächsten Jahren

Fortschritte erzielt werden, die von den Partnern des Global Footprint Network mitgetragen werden.

Es ist wichtig herauszustreichen, dass Kritiker des Fußabdruckkonzeptes (siehe zum Beispiel RPA, 2005) vielfach methodische Schwachstellen identifizierten, welche sich jedoch bei genauerer Analyse nicht als prinzipielle konzeptionelle Probleme darstellen, sondern auf einen Mangel an Daten oder noch nicht voll entwickelte Methoden zurückzuführen sind. So wird etwa auch im Forschungsprogramm darauf hingewiesen, dass die Verrechnung der Atomenergie über CO₂-Äquivalente nur einen Platzhalter darstellt, der später durch andere Berechnungsmethoden ersetzt werden soll. Genauso wird herausgearbeitet, dass die Datensituation hinsichtlich internationaler Handelsströme derzeit nicht zufriedenstellend ist.

Eine aktive Unterstützung dieses internationalen Forschungsprogramms seitens des UBA wäre wünschenswert, da Arbeiten in diesem Programm international koordiniert werden und somit sichergestellt wäre, dass Ergebnisse im Bereich alternativer nationaler Datensätze oder Weiterentwicklungen der Berechnungsmethode direkten Eingang in die „Footprint-Community“ finden würde.

Bislang gibt es keine deutsche Institution, welche Vertreter in das *National Accounts Committee* (oder andere Komitees des Global Footprint Network) entsendet. Sollte das UBA – in Zusammenarbeit mit anderen Forschungsinstitutionen – seine Aktivitäten im Bereich des Ökologischen Fußabdrucks ausweiten, wäre die Teilnahme an den Arbeiten der Komitees ein wichtiger Schritt, um direkte Kommunikation mit dem GFN zu ermöglichen und Synergien mit den Partnerinstitutionen des GFN bestmöglich zu nutzen.

5.2.2. Förderung der Anbindung an existierende Umweltrechensysteme

Um seine Anwendung auf nationaler Ebene zu stärken, wäre es ein zentrales Ziel, den Fußabdruck besser an andere Umweltrechensysteme bzw. integrierte Umwelt-Wirtschaft-Rechensysteme (wie etwa die UGR in Deutschland, das NAMEA-System auf europäischer Ebene oder das SEEA-System auf UN-Ebene) anzuschließen. Dies würde eine stärkere Orientierung an der Accounting Struktur der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung bedingen und wäre ein wichtiger Schritt, um Footprint Accounts näher an die Datenerhebung und -verarbeitung in nationalen statistischen Ämtern heranzuführen. Eine solche Anbindung würde auch die Möglichkeiten der direkten Einbindung von Footprint Accounts in integrierte Wirtschaft-Umwelt-Modelle erhöhen. Weiters würde dies die Möglichkeiten der Berechnung von „interlinkage indicators“ erweitern, also Indikatoren, welche Aspekte in verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit verbinden. Darunter fielen etwa Indikatoren, welche die Wirtschaftsleistung auf volkswirtschaftlicher oder sektoraler Ebene mit den jeweiligen Fußabdrücken verbinden (Effizienz- oder Produktivitätsindikatoren) oder eine Verbindung zwischen Daten zur Beschäftigung und Fußabdrücken herstellen (Fußabdruck-Intensität der Arbeit).

Aus dieser Perspektive kann die Empfehlung an das UBA gegeben werden, die Zusammenarbeit mit der Abteilung der Umweltökonomischen Gesamtrechnung am Statistischen Bundesamt in Wiesbaden zu stärken, um gemeinsam in Richtung einer besseren Anbindung des Fußabdrucks an existierende Rechen- und Indikatorensysteme zu arbeiten.

5.2.3. Berücksichtigung der Herkunft und Destination von Handelsgütern

Eine zentrale Empfehlung hinsichtlich methodischer Weiterentwicklungen betrifft die geografische Zuordnung der Importe und Exporte der nationalen Fußabdruckstudien.

Gegenwärtig wird in den National Footprint Accounts ein Datensatz verwendet, welcher nicht nach Herkunftsregionen der Importe unterscheidet. Daher kann der Fußabdruck keine Aussage darüber treffen, in welchen spezifischen Weltregionen die negativen Auswirkungen des hohen Ressourcenkonsums vor allem der nördlichen Industrieländer auftreten.

Es wird daher empfohlen, in einer Weiterentwicklung des Fußabdruck-Konzeptes schrittweise auf Datensätze zurückzugreifen, welche Importe und Exporte explizit nach Herkunfts- und Zielländern ausweisen. Nur so können die Auswirkungen des zunehmenden internationalen Handels zwischen verschiedenen Weltregionen analysiert und quantifiziert werden; welche Länder die Biokapazität welcher anderen Länder (über-)beanspruchen. Solche Datensätze sind in der Außenhandelsstatistik vieler Länder (so auch von Deutschland) verfügbar, allerdings ist zu erwarten, dass die Datenqualität in Ländern verschiedener Weltregionen große Unterschiede aufweist, wodurch weltweite Konsistenz und Vergleichbarkeit leiden würden. Eine mögliche Vorgehensweise wäre daher, diese Verfeinerung in einem ersten Schritt nur für jene Länder durchzuführen, für die belastbare Datensätze zur Verfügung stehen (etwa die Gruppe der OECD-Länder).

Um die Datengrundlage hinsichtlich der „embodied energy“ von gehandelten Gütern zu verbessern – diese werden, wie oben ausführlich beschrieben, zur Zeit mit einem einzigen Datensatz für alle Länder der Erde berechnet – wird die Anwendung eines multi-nationalen Input-Output-Modells empfohlen, welches Wirtschaftsdaten (Daten über den Außenhandel, Daten über die Wirtschaftsstruktur der einzelnen Länder) mit Umweltdaten (wie CO₂-Emissionen für jeden Wirtschaftssektor) integriert. Solche Modelle können die unterschiedlichen Produktionsstrukturen in verschiedenen Ländern widerspiegeln und sind daher am besten geeignet, indirekte Umwelterfordernisse von gehandelten Gütern zu berechnen (Giljum, 2005; Wiedmann et al., 2006a). Im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes arbeitet SERI derzeit gemeinsam mit dem Institut für wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) in Osnabrück an der Erstellung eines solchen globalen Wirtschaft-Umwelt-Modells. Erste Ergebnisse werden hinsichtlich der indirekten Rohstoffordernisse für gehandelte Güter erstellt und im Herbst 2007 vorliegen. Es ist geplant, weitere Umweltdimensionen (wie Energieverbrauch oder CO₂-Emissionen) in späteren Arbeitsschritten zu integrieren. Ein solcher Modellrahmen kann auch um Datensätze zur realen Landnutzung erweitert werden. Damit könnte die indirekte Flächenbelegung („embodied land“) in anderen Ländern errechnet werden, die den importierten Produkten nach Deutschland zuzurechnen wäre.

Auch das Statistische Bundesamt in Wiesbaden arbeitet an der Entwicklung von Methoden und Modellen zur Berechnung indirekter Umwelterfordernisse, sowohl im Bereich Rohstoffeinsatz als auch Energieverbrauch (siehe zum Beispiel, Schoer, 2006).

5.2.4. Weitere Schwerpunkte

Breitere Anwendungen von Input-Output-Analysen

Eine breitere Anwendung von Input-Output-Analysen (IOA) mit den Daten der National Footprint Accounts könnte die politik-orientierte Anwendung von Fußabdrucksberechnungen stärken. Solche Berechnungen werden etwa vom Statistischen Bundesamt derzeit bereits mit Daten der Material- oder Energieflussanalyse durchgeführt (siehe zum Beispiel Schoer and Schweinert, 2005).

IOA können die Fußabdrücke auf Branchenebene berechnen und somit jene Sektoren mit den größten (direkten und indirekten) Umwelteinwirkungen identifizieren (Simmons et al., 2006b). Weiters können Produktionsketten innerhalb der heimischen Wirtschaft analysiert

werden, um Möglichkeiten der Erhöhung der Ressourceneffizienz entlang der Lieferketten zu bewerten. Mit Hilfe der IOA können auch die Fußabdrücke verschiedener Kategorien des Endkonsums berechnet und somit vergleichende Studien verschiedener Lebensstile durchgeführt werden (siehe dazu Wiedmann et al., 2006c).

Szenarien zukünftiger Energienutzung

Je nach zugrunde liegenden Annahmen existieren sehr unterschiedliche Simulationen über die zukünftige Entwicklung der Größe des Ökologischen Fußabdrucks auf nationaler und globaler Ebene. Diese Annahmen betreffen insbesondere den Bereich zukünftiger Energieversorgung und den Ausstoß von klimawirksamen Gasen, welche die Größe des Fußabdrucks maßgeblich bestimmen wird (vergleiche etwa EAI, 2002 mit WWF et al., 2006).

Technologie-optimistische Annahmen gehen davon aus, dass der Fußabdruck durch die Verwendung abiotischer erneuerbarer Energie und neuer Technologien zur CO₂-Bindung dramatisch gesenkt werden kann. Andere Simulationen rechnen mit einer noch länger andauernden Nutzung fossiler Energieträger, wodurch eine Reduktion des Fußabdrucks deutlich langsamer zu erreichen sein wird.

Eine wichtige methodische Weiterentwicklung ist daher die Simulation der Auswirkungen der Nutzung unterschiedlicher Energieformen auf Größe und Zusammensetzung des Fußabdrucks. Basierend auf diesen Simulationsrechnungen können dann Politikvorschläge erarbeitet werden, durch welche Maßnahmen der Fußabdruck am wirksamsten und ökonomisch effizientesten reduziert werden könnte.

Erarbeitung einer Risikokomponente

In den gegenwärtigen Footprint Accounts wird das Thema Risiko nicht behandelt. Es wird daher nicht einberechnet, welche negativen Umweltauswirkungen die Nutzung bestimmter natürlicher Ressourcen bzw. bestimmter Technologien mit sich bringen könnte.

Dies kann anschaulich am Beispiel Atomenergie gezeigt werden. Würde es etwa in einem Atomkraftwerk zu einem Unfall mit Austritt einer größeren Menge radioaktiven Materials kommen, so wäre eine große Landfläche verseucht und für den Menschen nur mehr eingeschränkt nutzbar (siehe Tschernobyl). Die Energiemenge, welche ein Atomkraftwerk produziert, könnte daher in einer Risikobetrachtung auch über jene Fläche in den Fußabdruck einberechnet werden, welche im Falle eines Unfalls verseucht werden würde.

Ein möglicher Schwerpunkt für die Weiterentwicklung könnte daher die Einbeziehung dieser Risikofaktoren für ausgewählte Teile der Fußabdruckberechnungen sein.

Berücksichtigung der qualitativen Dimension von Landnutzung

Weiterentwicklungen von Gewichtungssystemen zur unterschiedlichen Berücksichtigung qualitativer Aspekte im Konzept des Fußabdrucks könnten die Anwendbarkeit für Probleme im Zusammenhang mit nationaler Land(über-)nutzung erhöhen. Dadurch würde der Fußabdruck auch im Sinne der Umweltschädigung (environmental impacts) weiterentwickelt werden (siehe Lenzen and Murray, 2003 und Kapitel 4.1).

Viele Expert/innen stehen diesen Entwicklungen jedoch auch skeptisch gegenüber. Einerseits wird argumentiert, dass das Konzept dadurch Gefahr laufe, seine internationale Vergleichbarkeit zu verlieren, wenn jedes Land eigene, auf die nationale Situation angepasste Gewichtungsfaktoren anwenden würde. Andererseits wird hervorgehoben, dass der Fußabdruck als Ressourcenindikator und nicht als Landnutzungsindikator konstruiert wurde und es bessere Indikatoren gibt, um die Überbeanspruchung von Böden (etwa durch

intensive Landwirtschaft) und die daraus entstehenden Folgen (etwa Erosion) oder den zunehmenden Verlust an fruchtbaren Boden durch Bebauung abzubilden.

5.3 Schlussfolgerungen für die Anwendung des Indikators

Dieses abschließende Teilkapitel beinhaltet Empfehlungen hinsichtlich der Anwendung des Indikators in Institutionen auf nationaler Ebene. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Budgetmittel musste der Umfang dieses Teils der Studie im Vergleich zum ursprünglich gelegten Angebot stark reduziert werden. Es können daher nur einige Grundfragen aufgeworfen und allgemeine Leitlinien für die Anwendung präsentiert werden.

5.3.1. Grundfragen zur Anwendung

Für potentielle Nutzer des Indikators sollen hier die Grundeigenschaften des Ökologischen Fußabdrucks noch einmal in zusammengefasster Form dargestellt werden. Diese betreffen keine Details hinsichtlich der Datengrundlage oder der Berechnungsmethode (so wie sie in den Kapiteln davor ausführlich behandelt wurden), sondern stellen jene Aspekte dar, welche den Fußabdruck von anderen Indikatoren für ökologische Nachhaltigkeit konzeptionell unterscheiden.

Aggregierter Indikator vs. Indikatorenset

Eine Grundsatzfrage betrifft das Niveau der Aggregation. Der Fußabdruck ist ein umfassender Indikator und verrechnet eine große Anzahl an Umweltkategorien (Verbrauch an erneuerbaren Rohstoffen, an Energie und Land sowie klimawirksame Emissionen) in eine hochaggregierte Maßeinheit. Andere Ansätze, wie etwa jene der UGR in Deutschland, verfolgen den Weg, getrennte Accounts für die verschiedenen Umweltkategorien zu erstellen und daraus ein Set an Indikatoren zu generieren, welche die Umweltkategorien nicht gegeneinander verrechnen, sondern nebeneinander präsentieren (etwa in Form getrennter Indikatoren für den Materialverbrauch, den Energieverbrauch und den Landverbrauch).

Durch sein sehr hohes Aggregationsniveau gewinnt der Fußabdruck stark an Anschaulichkeit, wodurch seine Einsetzbarkeit für Kommunikations- und Bildungszwecke gefördert wird. Auch kann der Fußabdruck dadurch Probleme bei der Substitution zwischen den verschiedenen Kategorien sichtbar machen (etwa den Mehrbedarf an Landfläche beim Umstieg von fossilen auf Biomasse-basierte erneuerbare Energieträger).

Gleichzeitig gehen durch diese Vorgangsweise jedoch viele Detailinformationen hinsichtlich spezifischer Probleme innerhalb der einzelnen Umweltkategorien (siehe dazu die nächsten beiden Punkte) verloren. Auch führt die Aggregation über die Einheit „Fläche“ zu zentralen Kritikpunkten am Fußabdruck, wie etwa die Frage der Aufrechnung von einerseits real genutzter Landfläche (etwa für die Landwirtschaft oder Weide) und andererseits (hypothetischer; siehe dazu Kapitel 4.1) benötigter Landfläche zur Absorption von CO₂-Emissionen.

Erneuerbare vs. nicht-erneuerbare Ressourcen

Der Ökologische Fußabdruck fokussiert auf jene Ressourcen, welche über bioproductive Flächen bereitgestellt werden können. Er ist somit gut geeignet, die Nutzung erneuerbarer Ressourcen zu erfassen und zu bewerten.

Die Nutzung nicht-erneuerbarer Ressourcen, welche den Großteil des gesellschaftlichen Rohstoffverbrauchs von Industriestaaten ausmachen (siehe Statistisches Bundesamt, 2006;

Weisz et al., 2006), geht nur indirekt über den Energieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen mit in die Berechnung ein. Nachhaltigkeitsprobleme, welche mit der Nutzung nicht-erneuerbarer Ressourcen in Verbindung stehen, wie etwa Rohstoffverfügbarkeit, Versorgungssicherheit sowie der Ressourcenproduktivität von Wirtschaftsräumen können daher mit dem Fußabdruck nicht direkt analysiert werden. Hierzu erscheinen andere Indikatoren, etwa jene, welche aus der Materialflussanalyse abgeleitet werden, besser geeignet (siehe zum Beispiel, Giljum, 2006).

Globale Hektar vs. reale Landnutzung

Der Fußabdruck verwendet für seine Berechnungen die Basiseinheit „Globale Hektar“ (für Details siehe Kapitel 2.1 und 4.2). Er nimmt daher auf die auf der Erde zur Verfügung stehende bioproduktive Fläche Bezug, abstrahiert jedoch durch die Umrechnung nationaler spezifischer Daten zur Flächennutzung und Flächenproduktivität mittels Äquivalenz- und Ertragsfaktoren von der tatsächlichen Landnutzung und realen Flächenverfügbarkeiten in den einzelnen Ländern.

Die Verwendung der Einheit „Globale Hektar“ bringt Vorteile, wie die Möglichkeit zur Aggregation verschiedener Landtypen in verschiedenen Ländern und schafft somit erst eine Grundlage für konsistente Berechnungen und Vergleiche auf internationaler Ebene.

Gleichzeitig wird die Interpretation der Ergebnisse auf nationaler Ebene erschwert, etwa wenn die zur Verfügung stehende bioproduktive Fläche eines Landes (ausgedrückt in Globalen Hektar) die tatsächlich verfügbare Fläche in diesem Land (ausgedrückt in realen Hektar) übersteigt. Für Fragen in Zusammenhang mit spezifischen Landnutzungsproblemen und -herausforderungen auf nationaler Ebene (wie etwa das Ziel der Reduktion des Zuwachses an verbautem Land in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie) ist der Fußabdruck daher nur beschränkt geeignet.

Nachhaltigkeitsgrenze vs. allgemeines Reduktionsziel

Der Ökologische Fußabdruck ist der wichtigste Indikator für ökologische Nachhaltigkeit, der explizit ein nachhaltiges Niveau der Ressourcennutzung errechnet und zeigt, dass – gemäß der getroffenen Annahmen – bereits die heutige Intensität der Ressourcennutzung über einem global tragfähigen Niveau liegt.

Dies bringt einerseits entscheidende Vorteile in der Kommunikation. Die Aussage, dass die Menschheit mehr als zwei Planeten bräuchte, wenn alle Menschen auf der Erde jene Menge an natürlichen Ressourcen verbrauchen würden wie ein/e EuropäerIn (WWF et al., 2005a), wurde von den Medien und einer Vielzahl von Institutionen (vor allem, NGOs) aufgegriffen.

Andererseits wird von vielen Experten kritisiert, dass die Kommunikation dieser Nachhaltigkeitsgrenze als scheinbar exakt berechneten Wert vorgenommen wird, obwohl viele Annahmen der Berechnung fraglich erscheinen (siehe dazu Kapitel 4.1). Andere Konzepte eines nachhaltigen Ressourcenmanagements (etwa Faktor 4/10) postulieren daher, dass es gar nicht möglich sei, das exakte Niveau einer nachhaltigen Ressourcennutzung zu bestimmen. Worum es ginge, sei die drastische Reduktion des Ressourcenverbrauchs und den damit einhergehenden negativen Umweltauswirkungen (zum Beispiel Spangenberg et al., 1998).

5.3.2. Anwendungsfelder

Der Ökologische Fußabdruck ist kein allumfassender Indikator für Nachhaltigkeit, sondern wird von seinen Proponenten als *ein* wichtiges Kriterium für ökologische Nachhaltigkeit

gesehen. Der Ökologische Fußabdruck wurde entwickelt, um eine zentrale Frage zu beantworten: wie viel der global verfügbaren biologischen Kapazität die Menschheit für ihre Aktivitäten nutzt. Dass der Fußabdruck der Menschheit kleiner sein muss als die global verfügbare Biokapazität sei eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für Nachhaltigkeit (GFN Standards Committees, 2006).

Die ausgezeichnete Eignung des Indikators Ökologischer Fußabdruck für Kommunikations- und Bildungszwecke ist unumstritten und wurde an mehreren Stellen in diesem Bericht behandelt. Eine weitergehende und intensivere Nutzung des Konzeptes für Umwelt- und Nachhaltigkeitsbildung (etwa durch das UBA) wird daher uneingeschränkt empfohlen.

Weiters ist der Ökologische Fußabdruck ein möglicher Indikator, um den gesamten Ressourcenkonsum (im Sinne der Berücksichtigung einer Reihe verschiedener Umweltkategorien) einer Region oder eines Landes darzustellen. Durch seine weltweit harmonisierte Berechnung eignet sich der Fußabdruck vor allem für internationale Vergleiche.

Bislang fand der Fußabdruck vor allem auf regionaler und betrieblicher Ebene Anwendung und Beispiele für die Anwendung als Indikator auf nationaler Ebene liegen nur vereinzelt vor. Eine kürzlich veröffentlichte Studie für die Schweiz (Von Stokar et al., 2006b) analysierte etwa den Fußabdruck als einen möglichen Schlüsselindikator zur Evaluierung der Ziele der Schweizer Nachhaltigkeitsstrategie.

Im Besonderen die verstärkte Verbindung der National Footprint Accounts mit ökonomischen Datensätzen und Modellen (etwa in Form von Input-Output-Modellen, siehe oben) könnte eine Vielzahl von möglichen Anwendungsfällen eröffnen; vor allem in Deutschland, wo die Datengrundlage für umweltökonomische Analysen im internationalen Vergleich sehr gut entwickelt ist. Voraussetzung ist jedoch auch hier, dass sich Nutzer/innen der Einschränkungen hinsichtlich der berücksichtigten Umweltkategorien und ihrer Verrechnung bewusst sind.

Die folgenden Themen und Fragestellungen wären Beispiele für weitergehende Fußabdruckanalysen:

- Die Analyse von Verarbeitungsketten in der nationalen Ökonomie und der Identifikation von „hot spots“ besonders hoher Umweltbelastungen;
- Die Abschätzung der Auswirkungen von Verbesserungen der Ökoeffizienz und von Veränderungen in der Endnachfrage;
- Die Analyse der Auswirkungen von Veränderungen hinsichtlich Energiemix (insbesondere der Umstieg auf nachwachsende Energieträger) und Energienachfrage;
- Die Auswirkungen von politischen Maßnahmen, wie etwa Emissionssteuern oder handelbaren Emissionszertifikaten;
- Die Analyse der Auswirkungen von zunehmendem internationalen Handel im Prozess der Globalisierung.

Gleichzeitig existiert eine Reihe von wichtigen Nachhaltigkeitsthemen, für die der Fußabdruck als Messinstrument ungeeignet ist, wie auch die Ecological Footprint Standards verdeutlichen (GFN Standards Committees, 2006). Dazu zählen Themen wie Biodiversität und die Erhaltung der Ökosysteme, Ressourcenmanagement (insbesondere nicht-erneuerbarer Ressourcen), konkrete Umweltauswirkungen der Ressourcennutzung (wie Klimawandel, Versauerung, Verlust an fruchtbaren Boden), sowie zentrale Aspekte andere Nachhaltigkeitsdimensionen, wie soziale Gerechtigkeit, Gesundheit und Lebensqualität.

Literatur

- Ayres, R.U. 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32, 347-350.
- Barrett, J., Birch, R., Cherrett, N., Simmons, C. 2004. An Analysis of the Policy and Educational Applications of the Ecological Footprint. Stockholm Environment Institute, York.
- Barrett, J., Birch, R., Cherrett, N., Wiedmann, T. 2005. Reducing Wales' ecological Footprint. A resource accounting tool for sustainable consumption. WWF, SEI, Cardiff, UK.
- Barrett, J., Welch, A., Ravetz, J., Wiedmann, T., Minx, J. 2006. Counting Consumption. CO2 emissions, material flows and Ecological Footprint of the UK by region and devolved country. WWF-UK.
- Behrens, A., Giljum, S. 2005. Erste Anzeichen einer Entkoppelung. Die materielle Basis der Weltwirtschaft und ihre globale Ungleichverteilung. *Ökologisches Wirtschaften* 1/2005, 28-29.
- Bicknell, K.B., Ball, R.J., Cullen, R., Bigsby, H.R. 1998. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological Economics* 27 (2), 149-160.
- Curry, R., Maguire, C., Simmons, C., Lewis, K., Moles, R., O'Regan, B., Walsh, C. in press. Island Limits: A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of Ireland. A report for the Irish Environmental Protection Agency. Best Foot Forward, Oxford.
- EAI. 2002. Assessing the Ecological Footprint. A look at the WWF's Living Planet Report 2002. Environment Assessment Institute, Copenhagen.
- ECOTEC. 2001. Ecological Footprinting. Working document for the STOA Panel. European Parliament, Luxemburg.
- Ekins, P. 2003. Identifying critical natural capital. *Ecological Economics* 44, 159-163.
- Ekins, P., Simon, S., L., D., Folke, C., De Groot, R. 2003. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecological Economics* 44, 165-185.
- Erb, K., Krausmann, F., Schulz, N. 2002. Der ökologische Fußabdruck des österreichischen Außenhandels. Social Ecology Working Paper. No. 62, Vienna.
- GFN. 2005. Charter for Global Footprint Network Committees. Global Footprint Network, Oakland, CA.
- GFN. 2006a. Ecological Footprint and Biocapacity. Technical Notes: 2006 Edition. Global Footprint Network, Oakland, CA.
- GFN. 2006b. National Footprint Account for Germany. 2006 Partner Edition. Global Footprint Network, Oakland, CA.
- GFN Standards Committees. 2006. Global Footprint Standards 2006. Global Footprint Network, Oakland, CA.
- Giljum, S. 2005. Quantifying indirect natural resource requirements with a global multi-country input-output model. Proceedings of the conference "Environmental Accounting and Sustainable Development Indicators", pp. 183-189, Prague.
- Giljum, S. 2006. Material flow-based indicators for evaluation of eco-efficiency and dematerialisation policies. In: Lawn, P. (Ed.) Sustainability indicators in Ecological Economics. Edward Elgar, Cheltenham.
- Giljum, S., Eisenmenger, N. 2004. North-South trade and the distribution of environmental goods and burdens: a biophysical perspective. *Journal of Environment and Development* 13 (1), 73-100.
- Giljum, S., Hinterberger, F., Wackernagel, M., Kitzes, J. 2006. Resource use indicators in the European Union. Policy processes, indicators sets and criteria for a headline indicator. Aachen Foundation, Aachen.
- Haberl, H., Erb, K.-H., Krausmann, F. 2001. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926–1995. *Ecological Economics* 38, 25-45.
- Haberl, H., Plutzer, C., Erb, K., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Loibl, W., Pollheimer, M., Sauberer, N., Schulz, N., Weisz, H. 2004. Der Einfluss des Menschen auf die Artenvielfalt. Gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion als Pressure-Indikator für den Verlust von Biodiversität. Social Ecology Working Paper. No. 66, Vienna.
- IIASA, FAO. 2000. Global Agro-Ecological Zones (GAEZ). CD-ROM. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome.

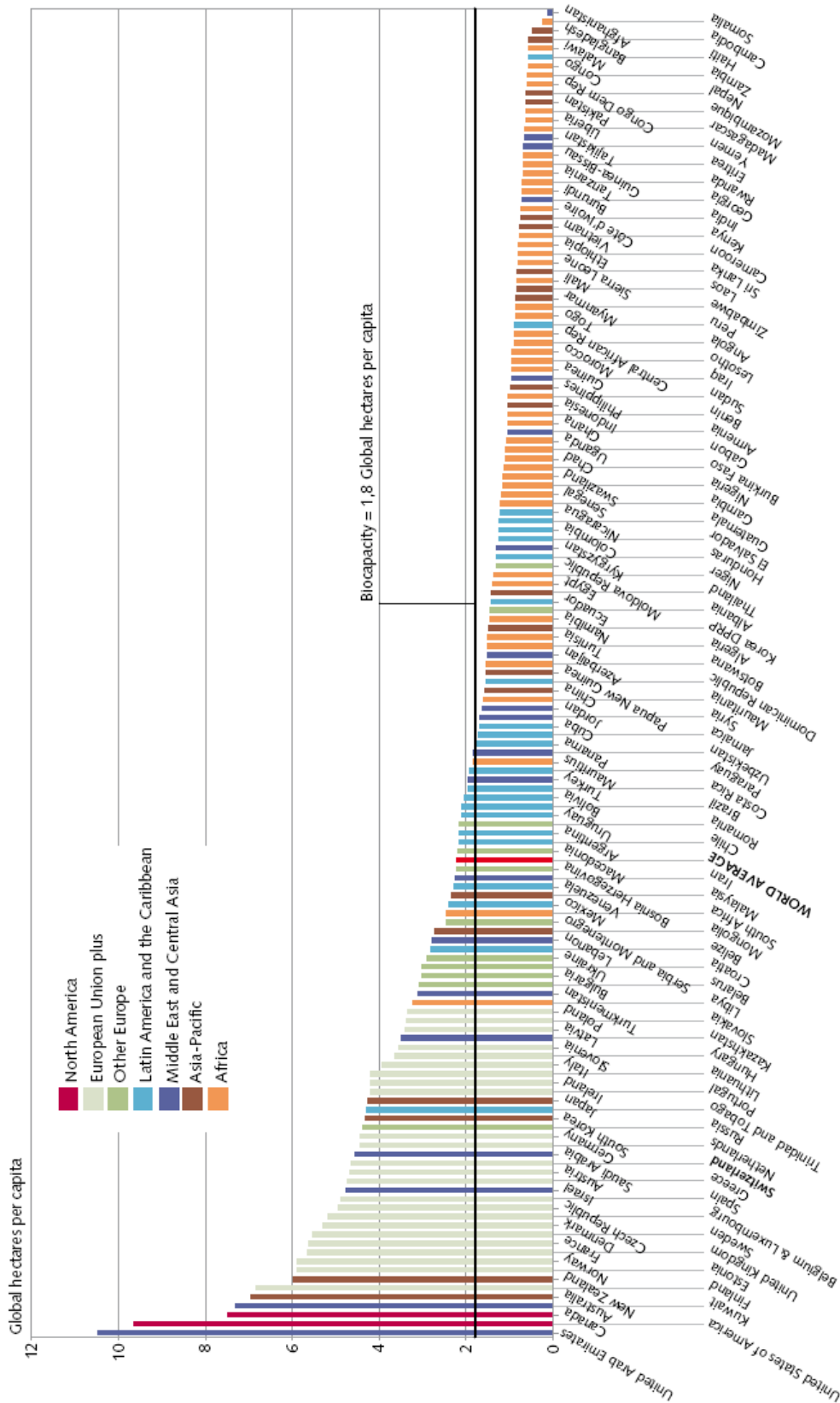
- Kleijn, R. 2001. Adding It All Up. The Sense and Non-Sense of Bulk-MFA. *Journal of Industrial Ecology* 4 (2), 7-8.
- Lenzen, M., Murray, J., Sack, F., Wiedmann, T. 2006. Shared producer and consumer responsibility – theory and practice. ISA Research Paper. No. 01-06. University of Sydney.
- Lenzen, M., Murray, S.A. 2001. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics* 37, 229-255.
- Lenzen, M., Murray, S.A. 2003. The Ecological Footprint - Issues and Trends. ISA Research Paper. No. 01-03. University of Sydney.
- Lewan, L., Simmons, C. 2001. The use of Ecological Footprint and Biocapacity Analyses as Sustainability Indicators for Subnational Geographical Areas: A Recommended Way Forward. Report prepared for Ambiente Italia. Best Foot Forward, Oxford.
- McDonald, G.W., Forgie, V.E., MacGregor, C. 2006. Treading lightly: Ecofootprints of New Zealand's ageing population. *Ecological Economics* 56, 424-239.
- McDonald, G.W., Patterson, M.G. 2004. Ecological Footprints and interdependencies of New Zealand regions. *Ecological Economics* 50 (1), 49-67.
- Miller, R.E., Blair, P.D. 1985. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Nick, H., Moffatt, I., Faichney, R., Wilson, M. 1999. Measuring sustainability: A time series of alternative indicators for Scotland. *Ecological Economics*, 55-73.
- Rees, W. 2000. Eco-footprint analysis: merits and brickbats. *Ecological Economics* 32, 371-374.
- Rees, W., Wackernagel, M. 1992. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy. Second Meeting of the International Society for Ecological Economics, Stockholm.
- RPA. 2005. Sustainable Consumption and Production - Development of an Evidence Base. Study of Ecological Footprinting. Risk & Policy Analysts Limited, London.
- Schaefer, F., Luksch, U., Steinbach, N., Cabeca, J., Hanauer, J. 2006. Ecological Footprint and Biocapacity. The world's ability to regenerate resources and absorb waste in a limited time period. EUROSTAT Working Paper. No.
- Schoer, K. 2006. Calculation of direct and indirect material inputs by type of raw material and economic activities. Paper presented at the London Group Meeting 19 - 21 June 2006. Federal Statistical Office Germany, Wiesbaden.
- Schoer, K., Schweinert, S. 2005. Use of Primary Material in Germany by Branches and Material Categories, 1995 - 2002. Paper presented at OECD Workshop on Material Flow Indicators and Related Measurement Tools, Berlin. No. Federal Statistical Office Germany, Wiesbaden.
- Schütz, H., Bringezu, S., Moll, S. 2004. Globalisation and the shifting environmental burden. Material trade flows of the European Union. Wuppertal Institute, Wuppertal.
- SERI, FoEE. 2005. Europe's Global Responsibility. Environmental Space, International Trade and Factor X. Sustainable Europe Research Institute, Wien.
- Simmons, C., Gonzalez, I., Lewis, K. 2006a. Methodology for determining global sectoral material consumption, carbon dioxide emissions and Ecological Footprints. A report for the WWF One Planet Business Programme. Best Foot Forward, Oxford.
- Simmons, C., Shmelev, S., Gonzalez, I., Lewis, K. 2006b. From resource extraction to final consumption: A sequential global carbon, ecological footprint and material flow analysis. Presentation at 2006 ConAccount Conference. No. Best Foot Forward, Oxford.
- Spangenberg, J., Femia, A., Hinterberger, F., Schütz, H. 1998. Material Flow-based Indicators in Environmental Reporting. Environmental Issues Series. No. 14. European Environmental Agency, Luxembourg.
- Statistisches Bundesamt. 2006. Umweltökonomische Gesamtrechnungen 2006. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Sustainable Europe Research Institute, Best Foot Forward, Charles University Environment Center, Factor 10 Institute, Friends of the Earth Europe, Global Footprint Network, Wuppertal Institute for Climate Energy Environment. 2006. Tracking Europe's Natural Resource Consumption. A Consensus Statement on the Importance of National Material Flow Accounting. Aachen Foundation Kathy Beys, Aachen.

- van den Bergh, J.C.J.M., Verbruggen, H. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. *Ecological Economics* 29 (1), 61-72.
- van der Voet, E., van Oers, L., Nikolic, I. 2005. Dematerialisation: not just a matter of weight. *Journal of Industrial Ecology* 8 (4), 121-137.
- van Kooten, G.C., Bulte, E.H. 1999. The Ecological Footprint: Useful Science or Politics? Working Paper 1999. No. 25. Sustainable Forest Management Network.
- van Vuuren, D.P., Bouwman, L.F. 2005. Exploring past and future changes in the ecological footprint for world regions. *Ecological Economics* 52, 43-62.
- van Vuuren, D.P., Smeets, E.M.W. 2000. Ecological Footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands. *Ecological Economics* 34, 115-130.
- Von Stokar, T., Steinemann, M., Rüegge, B., Schmill, J. 2006a. Ecological Footprint of Switzerland: Technical Report. Federal Statistical Institute of Switzerland et al., Neuchâtel, Switzerland.
- Von Stokar, T., Steinemann, M., Rüegge, B., Schmill, J. 2006b. Switzerland's ecological footprint. A contribution to the sustainability debate. Swiss Statistics Series. Federal Statistical Institute of Switzerland et al., Neuchâtel, Switzerland.
- Wackernagel, M., Ferguson, A. 1999. An evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics* 31, 317-321.
- Wackernagel, M., Giljum, S. 2001. Der Import von ökologischer Kapazität: Globaler Handel und die Akkumulation von ökologischen Schulden. *Natur und Kultur* 2 (1), 33-54.
- Wackernagel, M., Kitzes, J., et al. 2006. A research agenda for improving national ecological footprint accounts. Unpublished draft. No. Global Footprint Network et al., Oakland, CA.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Erb, K., Haberl, H., Schulz, N. 2004a. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961-1999: comparing the conventional approach to an „actual land area“ approach. *Land Use Policy* 21, 261-269.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Goldfinger, S., Deumling, D., Murray, M. 2004b. National Footprint and Biocapacity Accounts 2004. The underlying calculation method. Global Footprint Network, Oakland, Canada.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D., Murray, M. 2005. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005. The underlying calculation method. Global Footprint Network, Oakland, Canada.
- Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A.C., Falfan, I.S.L., Garcia, J.M., Guerrero, A.I.S., Guerrero, M.G.S. 1999. National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept. *Ecological Economics* 29, 375-390.
- Wackernagel, M., Onisto, L., Linares, A., López Falfán, I., Méndez García, J., Suárez Guerrero, A., Suárez Guerrero, G. 1997. Ecological Footprints of nations. How much nature do they use? - How much nature do they have? Centro de Estudios para la Sustentabilidad Universidad Anáhuac de Xalapa, México.
- Wackernagel, M., Rees, W. 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island, British Columbia.
- Weisz, H., Krausmann, F., Amann, C., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Hubacek, K., Fischer-Kowalski, M. 2006. The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption. *Ecological Economics* 58, 676-698.
- Wiedmann, T., Lenzen, M. forthcoming. On the conversion between local and global hectares in Ecological Footprint analysis. *Ecological Economics*.
- Wiedmann, T., Minx, J., Barrett, J., Vanner, R., Ekins, P. 2006a. Resource Flows. Final project report. Stockholm Environment Institute, York.
- Wiedmann, T., Minx, J., Barrett, J., Wackernagel, M. 2006b. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. *Ecological Economics* 56, 28-48.
- Wiedmann, T., Minx, J., Barrett, J., Wackernagel, M. 2006c. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. *Ecological Economics* 56, 28-48.
- Wuppertal Institut. 2005. Fair Future. Begrenzte Ressourcen und globale Gerechtigkeit. Herausgegeben vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. C.H. Beck, München.

- WWF. 2006. One Planet Business: Shared Action for Sustainable Industries. WWF-UK, Surrey, UK.
- WWF, Global Footprint Network, IUCN. 2005a. Europe 2005. The ecological footprint. Gland, Switzerland.
- WWF, Global Footprint Network, Kadoorie Farm and Botanic Garden. 2005b. Asia Pacific 2005. The Ecological Footprint and Natural Wealth. WWF, Gland, Switzerland.
- WWF, UNEP, Global Footprint Network. 2004. Living Planet Report 2004. WWF, Gland, Switzerland.
- WWF, UNEP, Redefining Progress, Centre for Sustainability Studies. 2002. Living Planet Report 2002. WWF, Gland, Switzerland.
- WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network. 2006. Living Planet Report 2006. WWF, Gland, Switzerland.
- WWF, N.E.F., World Conservation Monitoring Centre. 1998. Living Planet Report 1998. WWF, Gland, Switzerland.

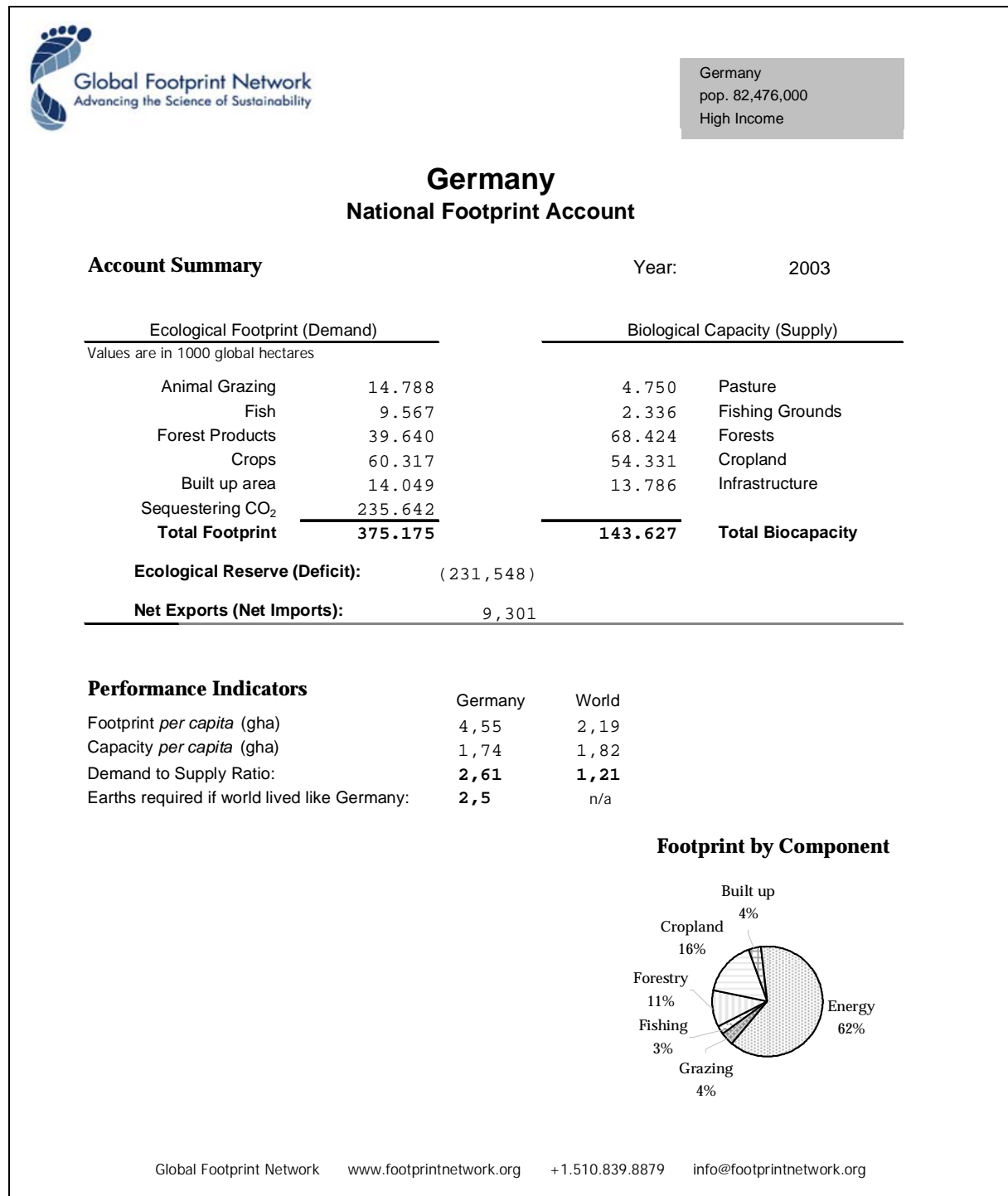
Annex

A1. Weltweiter Vergleich der ökologischen Fußabdrücke, 2002



Quelle: Von Stokar et al. (2006b) basierend auf WWF et al. (2004)

A2. Zusammenfassung der Footprint Accounts für Deutschland



Quelle: GFN, 2006b