

PUBLIZIERBARER Endbericht Studien

(gilt nicht für andere Projekttypen)

A) Projektdaten

Titel:	Erstellung einer Datenbank der in Österreichs Importen und Exporten enthaltenen CO ₂ -Emissionen
Programm:	ACRP
Koordinator/ Projekteinreicher:	SERI Nachhaltigkeitsforschungs und -kommunikations GmbH
Kontaktperson - Name:	Martin Bruckner
Kontaktperson - Adresse:	Garnisongasse 7/17 1090 Wien
Kontaktperson - Telefon:	01 969 07 28 26
Kontaktperson E-Mail:	martin.bruckner@seri.at
Projekt- und Kooperationspartner (inkl. Bundesland):	Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS), Osnabrück, Deutschland
Projektwebsite:	www.seri.at/gram-co2
Schlagwörter:	Economy-Wide Carbon Accounting, internationaler Handel, Konsumentenverantwortung, multi-regionale Input-Output Analyse
Projektgesamtkosten:	47,896.54 €
Fördersumme:	47,896.54 €
Klimafonds-Nr:	A760462
Projektstart & Ende	10/2008 – 12/2009

1 Executive Summary

Die internationale Staatengemeinschaft verhandelt hart darüber, wer welchen Beitrag zu einer grundsätzlich von allen für wichtig und richtig befundenen Verringerung der Treibhausgase (THG) leisten muss. Eine entscheidende Frage dabei ist: sind diejenigen, die Güter und Dienstleistungen produzieren verantwortlich für die Treibhausgase oder sind es diejenigen, die sie konsumieren. In Zeiten der Globalisierung wird daraus eine Frage internationaler Verhandlungen.

Wo auf der Erde Treibhausgase emittiert werden, ist für ihre Wirkung, den sogenannten Treibhauseffekt, letztlich irrelevant. Die bisherige Klimapolitik des Kyoto-Protokolls, in dem sich die Industriestaaten der Erde zu einer ersten Treibhausgasreduktion bis 2012 verpflichtet haben, rechnet Emissionen immer dem Land zu, in dem sie in die Umwelt entlassen werden. Strategien einzelner Länder zur Reduktion von CO₂-Emissionen können so leicht dazu führen, dass diese lediglich in andere Länder verlagert werden, etwa durch vermehrte Importe von Stahl aus dem Ausland. Um die weltweiten ökologischen Auswirkungen der Produktion und des Konsums eines bestimmten Landes zu bewerten, ist es daher notwendig, den internationalen Handel und dessen CO₂-Rucksäcke mit einzubeziehen. Nur so können mögliche Verlagerungen von Umweltbelastungen in Folge von veränderten globalen Produktions-, Handels- und Konsummustern erkannt und analysiert werden. Das bedeutet, dass z.B. Österreich weitaus mehr Emissionen verursacht als in Österreich selbst emittiert werden. Im Jahr 2005 überstieg die Zahl der durch Österreichs Konsum verursachten Emissionen jene der Produktion um 58%. Damit liegt Österreich im globalen Vergleich an der achten Stelle unter den CO₂-Netto-Importeuren.

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes, finanziert durch den österreichischen Klima- und Energiefonds (siehe <http://www.seri.at/gram-co2>), bestätigen die globale Verlagerung von CO₂-Emissionen durch den internationalen Handel. Im Jahr 1995 überstiegen die Importe von CO₂-Rucksäcken der Länder, die sich im Kyoto-Protokoll zu konkreten Emissionsreduktionen verpflichtet haben, deren Exporte um rund 1,7 Milliarden Tonnen. Diese sog. Annex-B-Länder waren also Netto-Importeure von knapp 8% der globalen energiebedingten CO₂-Emissionen. Bis zum Jahr 2005 hat sich diese Menge beinahe verdoppelt, die Annex-B-Länder bilanzieren 10 Jahre später mit Netto-Importen von über 3 Milliarden Tonnen CO₂ (was mehr als 11% der globalen CO₂-Emissionen entspricht).

Den größten Anstieg verzeichnen die Vereinigten Staaten, die ihre Netto-Importe auf knapp 1,3 Milliarden Tonnen vervierfacht haben. Die EU27 bilanziert mit knapp 1,5 Milliarden Tonnen CO₂-Netto-Importen sogar noch höhere Netto-Importe. Am anderen Ende des Spektrums stehen die Entwicklungsländer, die gemeinsam 54% aller CO₂-Netto-Exporte verbuchen, gefolgt von den Schwellenländern China (24%) und Russland (8%).

Die durchschnittliche jährliche Produktion von CO₂-Emissionen in der EU27 belief sich im Jahr 2005 auf 8,2 Tonnen pro Person, der EU-Konsum verursachte jedoch 11,2 Tonnen CO₂ pro Person. Entwicklungsländer bilanzierten 2005 hingegen CO₂-Emissionen von weniger als 3 Tonnen pro Person, wobei der Konsum in diesen Ländern sogar nur 2,1 Tonnen pro Person betrug. Gerade der Konsum der größten Emittenten von CO₂-Emissionen ist also Triebfeder für CO₂-Emissionen auch in anderen Weltregionen.

Diese Zahlen verdeutlichen, dass eine globale Zuweisung der Verantwortung für CO₂-Emissionen nach dem territorialen Prinzip zu einer rechnerischen Besserstellung entwickelter Industrienationen führt, deren Lebensstile und Konsumverhalten noch größere Auswirkungen auf das Klima haben, als die nationalen Emissionsbilanzen vermuten lassen.

Andererseits kann man natürlich sagen, dass auch die Produzenten über die Einnahmen aus dem Verkauf ihrer Waren profitieren. Wir schlagen deshalb einen Ansatz der geteilten Verantwortung vor, der zwar die Produzenten nicht aus ihrer Verantwortung entlässt, den Konsumentenländern jedoch einen Teil dieser Verantwortung überträgt.

Die im Rahmen dieses Projektes erstellte Datenbank der in Österreichs Außenhandel enthaltenen CO₂-Emissionen, so genannten CO₂-Rucksäcken, basiert auf einem multidirektionalen multi-regionalen Input-Output (MRIO) Modell. MRIO Modelle ermöglichen durch die Verknüpfung einzelner nationaler IO-Modelle mittels internationaler Handelsdaten die Berücksichtigung unterschiedlicher Produktionstechnologien und Umweltintensitäten in verschiedenen Ländern und Weltregionen. Trotz höherem Datenaufwand und Rechenkapazitäten haben sich diese Modelle aufgrund ihrer gesteigerten Genauigkeit in den vergangenen Jahren immer mehr durchgesetzt. Die ermittelten Daten dienen als Grundlage für eine Betrachtung der Implikationen einer Neuverteilung der Verantwortung zwischen Emittenten und Konsumenten für die globale Klimapolitik, und insbesondere für Österreich. Die Daten sind in sektoraler Form und für die Jahre 1995 bis 2005 aufbereitet und lassen sich somit auf nutzerfreundliche Weise und erstmalig als Zeitreihe in eine Vielzahl von ökonomischen Modellen integrieren.

2 Hintergrund und Zielsetzung

Die Zielsetzung dieses Projektes war die Erstellung einer Datenbank der in Österreichs Außenhandel enthaltenen CO₂-Emissionen, der so genannten CO₂-Rucksäcke.

Der Ausstoß von Treibhausgasen, und als das wichtigste davon Kohlendioxid, durch menschliche Aktivitäten ist eine der Hauptursachen für den Klimawandel. Dieses globale Problem erfordert globales Handeln. Nationale Maßnahmenprogramme, die auf eine Reduktion der heimischen CO₂-Emissionen abzielen, können jene anderer Staaten erhöhen und damit dem weltweiten Kampf gegen den Klimawandel entgegenwirken. Dieses Phänomen ist allgemein als CO₂-Leakage bekannt. Der Ausdruck beschreibt die Verlagerung von Produktionsprozessen und somit von CO₂-Emissionen als eine Folge nationaler Politikmaßnahmen, die einer Emissionsreduktion entgegenwirkt und diese sogar aufheben kann.

Um die globalen Auswirkungen einer Maßnahme oder einer Klimastrategie beurteilen zu können, müssen Verlagerungen von CO₂-Emissionen vom Produzenten- zum Konsumentenland durch internationalen Handel berücksichtigt werden. In diesem Sinne ist bei der Emissionsbilanzierung zwischen dem territorialen Prinzip (Emissionen der heimischen Produktion), wie bisher u.a. im Kyoto Protokoll verwendet, und dem konsumorientierten Prinzip (durch den heimischen Konsum weltweit verursachte CO₂-Emissionen) zu unterscheiden. Außerdem kann je nach Umfang der berücksichtigten Kohlenstoffströme zwischen Full und Partial Carbon Accounting unterschieden werden.

Zur Berechnung von im Außenhandel enthaltenen CO₂-Emissionen stehen zwei Methoden zur Verfügung: die Life-Cycle-Analyse (LCA) und die Input-Output-Analyse (IOA). Ziel des Projektes ist es, ein so genanntes Economy-Wide Partial Carbon Accounting auf Basis eines multi-regionalen Input-Output (MRIO) Modells durchzuführen. Die Berechnungen basieren auf dem Global Resource Accounting Model (GRAM), welches von SERI gemeinsam mit der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) entwickelt wurde um die ökologischen Rucksäcke des internationalen Handels zu berechnen (siehe www.seri.at/gram).

Dieses Papier stellt die verwendete Methode sowie die Ergebnisse der Arbeiten vor und ist dazu wie folgt aufgebaut: Kapitel 2 gibt eine Einführung in die verschiedenen Ansätze der CO₂-Bilanzierung und stellt die jeweiligen Problematiken dar. In Kapitel 3 werden die verwendeten Daten und Methoden zur Erstellung von CO₂-Bilanzen unter Berücksichtigung des Außenhandels vorgestellt. Kapitel 4 beschreibt die Ergebnisse der Berechnungen zuerst auf globaler Ebene und anschließend in detaillierter Form für Österreich. Kapitel 5 schließt mit der Beschreibung des erstellten Datensatzes und einer Erläuterung von Anwendungsmöglichkeiten der Projektergebnisse in zukünftigen Forschungsarbeiten.

3 Projektinhalt, Methodik und Ergebnisse

3.1 Ansätze der CO₂-Bilanzierung

Anthropogene CO₂-Quellen sind eine der Hauptursachen des Klimawandels. Diese Emissionen stammen aus verschiedenen Quellen wie der Verbrennung fossiler Energieträger in Industrie und Haushalten, aber auch aus indirekten Quellen wie CO₂-Emissionen aus Landnutzungsveränderungen. Außerdem gibt es viele natürliche Quellen und Senken von CO₂-Emissionen, die jedoch auch mehr oder weniger durch menschliche Interaktion geprägt und beeinflusst sind.

Ein Bilanzierungsansatz kann all diese Quellen beinhalten, oder nur ausgewählte. Je nach den Systemgrenzen eines Bilanzierungssystems kann zwischen voller und partieller CO₂-Bilanzierung unterschieden werden (siehe Tabelle 1). Die Grenzziehung erfolgt nach Ursprung der Emissionen. Eine partielle Bilanzierung kann z.B. Emissionen aus sozio-ökonomischen Quellen (Emissionen von Haushalten und aus der Industrie), aus anthropogenen Quellen (direkte und indirekte Emissionen verursacht durch menschliches Handeln), aus der Verbrennung fossiler Energieträger oder aus natürlichen Quellen (natürliche Quellen und Senken von CO₂-Emissionen) umfassen, oder aber mehrere dieser Bereiche umfassen. Werden alle globalen CO₂-Flüsse unabhängig von deren Ursprung erfasst, spricht man von Full Carbon Accounting.

Außerdem können Bilanzierungssysteme je nach dem Ansatz, auf dem sie basieren, unterschieden werden. In der Mehrzahl der Fälle sind CO₂-Emissionsbilanzen produktionsbezogen (Territorial Accounting). Das heißt alle auf nationalem Gebiet emittierten Emissionen werden berücksichtigt. Im Gegensatz dazu zielt ein konsumbezogenes Bilanzierungssystem darauf ab, alle CO₂-Emissionen zu erfassen, die entlang der gesamten Produktionsketten aller heimisch konsumierten Produkte anfallen.

Tabelle 1: Einteilung verschiedener Ansätze der CO₂-Bilanzierung

Ansatz \ Umfang	Full	Partial
Produktionsbezogen	Full Territorial Carbon Accounting	Partial Territorial Carbon Accounting
Konsumbezogen	Full Economy-Wide Carbon Accounting	Partial Economy-Wide Carbon Accounting

In diesem Projekt werden die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger auf Konsumbasis analysiert. Es handelt sich demnach um ein Partial Economy-Wide Carbon Accounting.

Territorial vs. economy-wide carbon accounting

Das Konzept der territorialen Bilanzierung (territorial accounting) wird beispielsweise von der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, siehe z.B. das Kyoto Protokoll), sowie von der Europäischen Union im EU Emissions Trading Scheme angewandt. Dieser Ansatz ist von klaren Systemgrenzen und guter Datenverfügbarkeit charakterisiert. Reduktionen der territorialen CO₂-Emissionen können jedoch viele Gründe haben. Einer davon ist die Verlagerung von Industriebetrieben oder ganzen Produktionszweigen in andere Länder. Eine nationale Strategie zur Reduzierung von CO₂-Emissionen, die auf dem territorialen Ansatz beruht, kann deshalb dazu führen, dass die Reduktionen eines Landes durch die Steigerung der Emissionen in anderen Ländern wieder aufgehoben werden.

Um die weltweiten ökologischen Auswirkungen der Produktion und des Konsums eines bestimmten Landes zu bewerten, ist es notwendig den internationalen Handel mit einzubeziehen. Nur so können

mögliche Verlagerungen von Umweltbelastungen in Folge von veränderten globalen Produktions-, Handels- und Konsummustern bestimmt und nachverfolgt werden.

Eine Reihe von Studien hat die Verteilung von Umweltauswirkungen auf verschiedene Weltregionen durch ökonomische Spezialisierung und internationale Arbeitsteilung untersucht. Dabei wurden Methoden der physischen Bilanzierung und der umwelt-ökonomischen Modellierung angewandt. Die Arbeiten fanden empirische Beweise dafür, dass Umweltbelastungen vermehrt durch Handel aus Industrieländern ausgelagert wurden. Diese Verlagerung besonders umweltbelastender Industrien führt zu steigenden Umweltintensitäten der Exporte von nicht-OECD Ländern (siehe z.B.: Ahmad and Wyckoff, 2003; Atkinson and Hamilton, 2002; Giljum, 2004; Giljum and Eisenmenger, 2004; Machado et al., 2001; Muradian et al., 2002; Nijdam et al., 2005; Peters et al., 2004; Peters and Hertwich, 2006a; Peters and Hertwich, 2008a; Schütz et al., 2004).

Diese globale Umweltverantwortung wird vermehrt von Umweltstrategien der Europäischen Union und der OECD berücksichtigt. Eine der allgemeinen Zielsetzungen der erneuerten EU Nachhaltigkeitsstrategie ist, nachhaltige Entwicklung weltweit aktiv zu fördern und sicherzustellen, dass die interne und die externe Politik der Europäische Union mit globaler nachhaltiger Entwicklung und mit internationalen Verpflichtungen (European Council, 2006, S. 20) konsistent sind.

3.2 Berechnung der CO₂-Rucksäcke

Zur Bestimmung globaler Umweltauswirkungen von Produkten kommt oft die Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA) zur Anwendung. Dazu werden direkte Importe eines Landes mit aufwändig ermittelten Koeffizienten (so genannten „Rucksack-Faktoren“) multipliziert, die die jeweils untersuchten Umweltauswirkungen und Ressourcenverbräuche (z.B. CO₂-Emissionen) entlang der gesamten Produktionskette eines gehandelten Produkts widerspiegeln. Aufgrund des hohen Aufwands zur Sammlung der nötigen Daten wurden ökologische Rucksäcke mit dieser Methode bisher jedoch nur für eine sehr kleine Zahl von verarbeiteten Produkten ermittelt.

Zur Ermittlung der ökologischen Rucksäcke des gesamten Außenhandels eines Landes bietet sich daher eine andere Methode an. Die Technik, Umweltverschmutzung mittels Input-Output (IO) Modellen (z.B. durch die Anbindung von Energieverbrauchs-faktoren oder Emissionsfaktoren) der Endnachfrage zuzuweisen, wird seit einigen Jahrzehnten für diese Zwecke eingesetzt (Leontief and Ford, 1970; Miller and Blair, 1985; Walter, 1973). Die um Umweltdaten erweiterte Input-Output-Analyse („environmentally extended input-output analysis“, EE IOA) ermöglicht das Untersuchen der Auswirkungen von strukturellen Veränderungen der Wirtschaft, der Technologie, des Handels, der Investitionstätigkeiten und des Konsums auf die Umwelt.

Ein wichtiger Vorteil des IO-Ansatzes im Vergleich zur LCA ist, dass er ungenaue Definitionen der Systemgrenzen verhindert, da das gesamte Wirtschaftssystem den Analysebereich darstellt. Außerdem reduziert der IO-Ansatz den Aufwand der Datenerhebung beträchtlich und ermöglicht dadurch die Durchführung von umfassenden nationalen oder globalen Analysen. Als Schwäche dieser Methode muss vor allem der hohe Aggregationsgrad erwähnt werden, der detaillierte Analysen auf Produktebene unmöglich macht. Es können zwei Arten von IO-basierten Ansätzen unterschieden werden, die im Folgenden beschrieben werden.

Input-Output-Modelle

Die ersten Studien, welche versuchten die Energie- und CO₂-Rucksäcke von Handelsströmen mittels eines EE-IO-Modells zu ermitteln, wurden bereits in den 70er-Jahren für den US-amerikanischen Außenhandel durchgeführt (Fieleke, 1975; Walter, 1973). In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden, vor allem mit der Fragestellung der globalen Verlagerung von CO₂-Emissionen durch Handel, vermehrt EE-IO-Modelle entwickelt (für einen umfangreichen Überblick siehe Wiedmann et al., 2007).

MRIO Modelle ermöglichen – durch die Verknüpfung nationaler IO-Modelle mittels internationaler Handelsdaten zu einem großen IO-Modell – die Berücksichtigung unterschiedlicher Produktionstechnologien und Umweltintensitäten in verschiedenen Ländern und Weltregionen, und bereinigen somit einige der größten Defizite von Single Region IO-Modellen.

Wiedmann et al. (2006) beschreiben einige wichtige Vorteile des MRIO-Ansatzes:

- MRIO Modelle ermöglichen die Verflechtung von (monetären) Handelsflüssen mit Umweltdaten und erlauben eine präzise und umfassende Analyse der im Handel enthaltenen Umweltbelastungen.
- Basierend auf einem MRIO Modell können verschiedene Analysen auf internationaler Ebene durchgeführt werden (z.B. Strukturelle Pfadanalyse, Strukturelle Dekompositionsanalyse und Quantifizierung von geteilter Umweltverantwortung zwischen Produzenten und Konsumenten).
- Mittels MRIO Modellen können sowohl direkte, indirekte, als auch induzierte Effekte des internationalen Handels erfasst werden.

Für eine ausführliche Diskussion der Vor- und Nachteile multiregionaler IO-Modelle siehe Wiedmann et al. (2007).

Vor allem in den letzten Jahren wurden vermehrt komplexe multi-regionale multi-sektorale IO-Modelle eingesetzt um Umweltbelastungen entlang von internationalen Produktionsketten zu ermitteln. Meilensteine in der Entwicklung solcher EE-MRIO Modelle zur Berechnung von im Handel enthaltenen CO₂-Emissionen waren die Publikationen von Ahmad und Wyckoff (2003), Lenzen et al. (2004) und Peters und Hertwich (2004). Umfangreiche Reviews von bis zum Jahr 2009 publizierten EE-MRIO Studien können den Publikationen von Wiedmann et al. (2007) und Wiedmann (2009b) entnommen werden.

Neuere Arbeiten zur Berechnung von CO₂-Rucksäcken, die eine größere Zahl von Ländern und Regionen unterscheiden, sind u.a. die Studien von Peters und Hertwich (2008a; 2008b), Peters (2008) und Minx et al. (2008), die jeweils auf den Daten von GTAP 6 basieren und 87 Länder und Regionen unterscheiden. Auch Wilting (2008) verwendet GTAP 6, aggregiert jedoch auf 12 Weltregionen plus die Niederlande und bildet aufbauend darauf ein echtes multidirektionales MRIO Modell. Nansai et al. (2008) stellen ein MRIO Modell vor, in dem die Forscher 200 Länder unterscheiden, diese jedoch nicht durch eigene Input- und Importmatrizen repräsentiert werden, sondern durch je einen einzelnen Sektor. Sie unterscheiden etwa 400 Wirtschaftssektoren Japans und können somit detaillierte sektorale CO₂-Bilanzen darstellen. Nakano et al. (2009) präsentieren ein umfangreiches multidirektionales MRIO Modell bei dem sie 41 Länder und Regionen unterscheiden. Dieses Modell basiert, so wie im Fall des in Kapitel 3.2 dieses Berichts beschriebenen GRAM-Modells, auf IO-Tabellen und Handelsdaten der OECD. Zu erwähnen sind auch die umfangreichen Arbeiten von Wiedmann et al. (2008a; 2008b) und Wiedmann (2009a), welche die CO₂-Emissionen in den Importen und Exporten Großbritanniens für eine Zeitreihe von 1992 bis 2004 ermitteln. Die Autoren verwenden dazu Daten der GTAP Versionen 5 und 6 und unterscheiden zwischen 3 Weltregionen (OECD-Europa, andere OECD und nicht-OECD Länder) sowie Großbritannien.

In der Vergangenheit stellten einerseits die hohen Datenanforderungen (vor allem bezüglich harmonisierter internationaler Wirtschafts- und Handelsdaten) sowie die gehobenen Anforderung an die Rechenkapazität zur computergestützten Berechnung umfangreicher Matrizen-Modelle große Hürden für die Umsetzung echter multidirektionaler MRIO Modelle dar. Beide Probleme konnten jedoch in den vergangenen Jahren deutlich verringert werden. Verbesserungen in der Datenverfügbarkeit und -qualität, nicht zuletzt durch die Arbeiten des GTAP Netzwerks und die Anstrengungen der OECD, sowie ständig wachsende Rechenkapazitäten moderner Matrizenrechenprogramme und Computer ermöglichen heute ein Maß an Komplexität, das nötig ist, um echte globale multidirektionale MRIO Modelle zu entwickeln.

Wiedmann (2009a) schreibt, dass "...MRIO Modelle – sobald sie voll ausgereift sind – in Zukunft besonders geeignet sein werden um ökologische Rucksäcke von Importen und Exporten zu berechnen, mit der Möglichkeit deren Ursprung über sektorale Verflechtungen, internationale Lieferketten und multinationale Handelsflüsse hinweg zu bestimmen" (Original, in Engl., in Wiedmann, 2009a, S. 1985). Bestehende Schwächen der Methode liegen dem Autor zufolge vor allem in der immer noch zu verbessernden Datenverfügbarkeit und -qualität, was sich negativ auf die Genauigkeit solcher Modelle auswirken kann (siehe auch Lenzen et al., 2004; Peters and Hertwich, 2006c; Wiedmann et al., 2006). Dieses Problem hat sich auch im Rahmen dieses Projektes bestätigt. Vor allem die Handelsdaten weisen Mängel auf, die aufwändig behoben werden mussten. Weitere

Verbesserungen der Datenbasis würde die Qualität der Auswertungen, vor allem für Detailanalysen auf Sektoren- und Produktgruppenebene erhöhen können.

Das Global Resource Accounting Model

Das Global Resource Accounting Model (GRAM) ist ein multi-regionales Input-Output Modell, wie zuvor beschrieben, das im Rahmen des Projekts petrE entwickelt wurde. Das GRAM Modell wurde erstellt, um die materielle Dimension der Beziehungen Europas mit dem Rest der Welt darzustellen und Ressourcenkonsum und Handel Europas in einer globalen Perspektive zu analysieren. GRAM ist ein umweltökonomisches Modell mit einem monetären Kernmodul, das IO-Tabellen der OECD verschiedener Länder über entsprechende bilaterale Handelsdaten der OECD (den so genannten Bilateral Trade Data, BTD) verbindet. Dieses monetäre Modell wird durch einen globalen Datensatz von Materialinputs in physischen Einheiten erweitert. Zur Erfüllung der Zielsetzung dieses Projektes war eine Adaptierung des GRAM Modells in mehrerlei Hinsicht erforderlich. Zusätzliche Datenquellen für die Berechnung von Zeitreihen sowie zur Implementierung von CO₂-Faktoren mussten herangezogen werden. Das Modell selbst wurde zu einem vollen MRIO Modell auf Matrixbasis umgestellt, anstatt wie bisher mittels einer iterativen Prozedur gelöst zu werden. Außerdem musste die Anbindungsmethodik, die ursprünglich für die Anbindung von Rohstoffentnahmen aus der Natur entwickelt wurde, an die Anforderungen der Emissionskalkulation angepasst werden. Das Modell wurde um eine entsprechende Emissionsmatrix erweitert. Außerdem wurde das ursprünglich auf Daten für das Jahr 2000 basierende Modell um Daten für die Jahre 1995-1999 und 2001-2005 erweitert.

Im Folgenden bieten wir eine Beschreibung dieses Modells und der vorgenommenen Erweiterungen. Eine detaillierte Beschreibung der ursprünglichen Konzeption des GRAM-Modells kann im entsprechenden Methodenpapier gefunden werden (siehe Giljum et al., 2008).

Die drei wichtigsten Datensätze, die zum Aufbau des GRAM Modells notwendig sind, sind Input-Output-Tabellen, Handelsdaten und CO₂-Emissionsdaten. Wie zuvor schon beschrieben, ist die Qualität der ökonomischen Daten entscheidend für die Genauigkeit der Ergebnisse. Eine große Herausforderung ist die Harmonisierung der nationalen Daten (IO-Tabellen) mit den internationalen Handelsdaten. Wir haben uns aus diesem Grund dafür entschieden, die von der OECD zur Verfügung gestellten internationalen Wirtschaftsdaten zu verwenden. Diese zeichnen sich aus durch hohe Verlässlichkeit, die Transparenz in der Gewinnung der Daten sowie den großen Umfang der abgebildeten Länder. Emissionsdaten für alle Länder werden von der IEA (International Energy Agency) publiziert, die eng mit der OECD zusammenarbeitet.

3.3 Ergebnisse

Carbon Leakage

Die globale Verlagerung von CO₂-emittierenden Prozessen aus jenen Ländern, die sich im Kyoto-Protokoll zu konkreten Emissionsreduktionen verpflichtet haben (sog. Annex-B-Länder, bestehend aus den Industriestaaten ausgenommen den Vereinigten Staaten), in nicht-Annex-B-Länder – und insbesondere in Schwellenländer wie China – wird in Wissenschaft und Politik als Carbon Leakage¹ bezeichnet. Dieses führt dazu, dass Emissionsreduktionen in einem Land zu Erhöhungen in anderen Ländern führen, womit die Höhe der globalen CO₂-Emissionen nicht reduziert, sondern aufgrund emissionsintensiverer Industrien in den nicht-Annex-B-Ländern, sogar noch gesteigert wird. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes bestätigen die globale Verlagerung von CO₂-Emissionen durch den internationalen Handel. Im Jahr 1995 betragen die Importe von CO₂-Rucksäcken der

¹ Peters und Hertwich (2008) unterscheiden „starkes“ und „schwaches“ Carbon Leakage, wobei ersteres der Definition des IPCC folgt und als Anstieg der Emissionen in nicht-Annex-B-Ländern geteilt durch die Emissionsreduktion in Annex-B-Ländern berechnet wird, und letzteres als Emissionsimporte von nicht-Annex-B- nach Annex-B-Ländern definiert ist. Die Berechnungen dieser Studie basieren auf der Definition von schwachem Carbon Leakage.

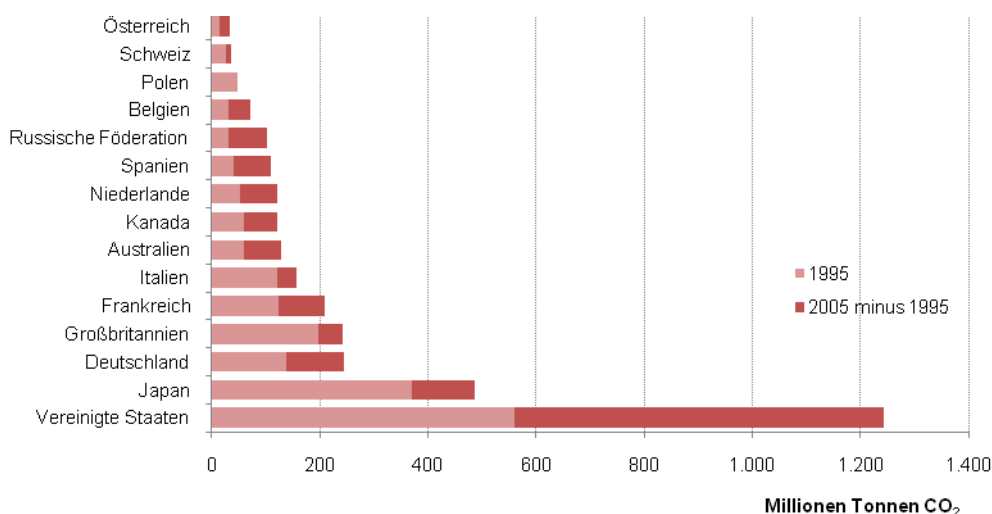
Annex-B-Länder rund 2,1 Milliarden Tonnen, was 9,6% der globalen energiebedingten CO₂-Emissionen entspricht. Bis zum Jahr 2005 hat sich diese Menge auf 3,6 Milliarden Tonnen CO₂ (12,8% der globalen CO₂-Emissionen) erhöht. Das bedeutet, dass rund ein Viertel des Emissionszuwachses, der seit 1995 in nicht-Annex-B-Ländern stattgefunden hat, auf das Konto des Konsums von Annex-B-Ländern geht (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Anteil des Carbon Leakage an der Produktion, 1995 und 2005

	1995	2005	Differenz
Carbon Leakage gesamt	2.095.569	3.602.590	1.507.021
Anteil an CO₂-Produktion	9,6%	12,8%	24,0%

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung des Carbon Leakage ausgewählter Länder von 1995 bis 2005. Österreich steht 2005, nach einem kräftigen Anstieg der CO₂-Importe aus nicht-Annex-B-Ländern um 132%, im internationalen Vergleich an 15. Stelle der emissionsauslagernden Saaten. Sowohl den größten Zuwachs an den Verlagerungen als auch den größten Gesamtwert verzeichneten die Vereinigten Staaten. 2005 stammten 1,25 Mrd. Tonnen CO₂ des US-amerikanischen Konsums aus nicht-Annex-B-Ländern, um 680 Mio. Tonnen mehr als noch 1995. An den folgenden Rängen liegen andere große Volkswirtschaften wie Japan, Deutschland, Großbritannien, Frankreich und Italien. Die Europäische Union importierte 2005 insgesamt 1,45 Mrd. Tonnen CO₂ aus nicht-Annex-B-Ländern und liegt damit im Vergleich noch vor den Vereinigten Staaten.

Abbildung 1. Carbon Leakage ausgewählter Länder, 1995-2005



CO₂-Handelsbilanz

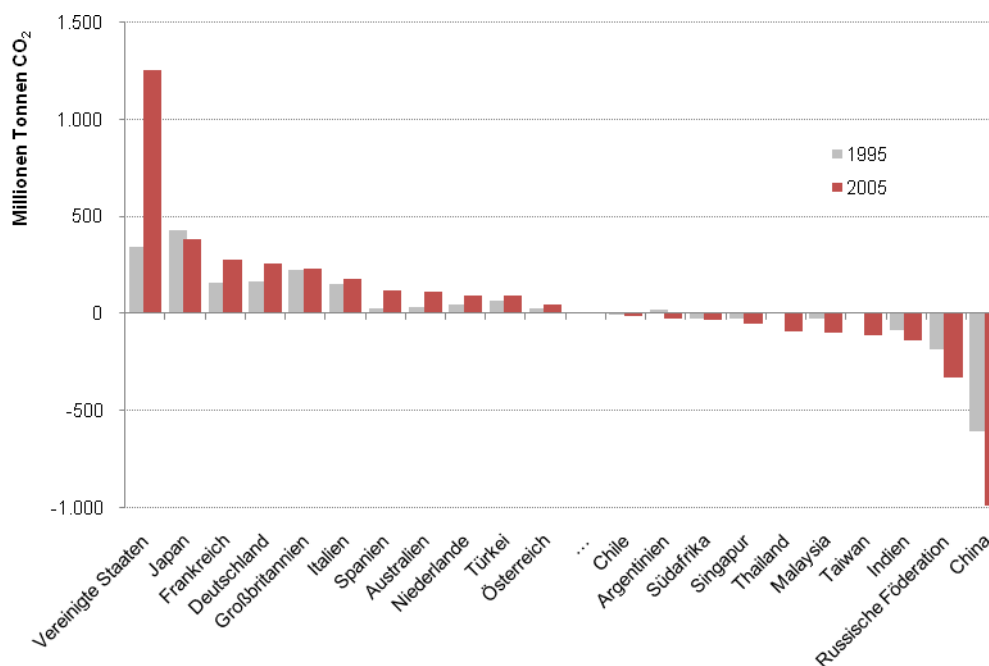
Die CO₂-Handelsbilanz eines Landes ergibt sich aus der Differenz aus Importen und Exporten von CO₂-Rucksäcken. Im Gegensatz zur ökonomischen Betrachtung bedeutet eine positive CO₂-Handelsbilanz, dass mehr CO₂ importiert als exportiert wird, ein Land also ein Netto-Importeur von Emissionen ist. Im Ranking der größten Netto-Importeure und -Exporteure zeigen sich die größten Verlagerungsströme (Abbildung 2). Auch hier führen die Vereinigten Staaten die Liste an (1,25 Mrd. Tonnen in 2005), weit abgeschlagen gefolgt von Japan (380 Mio. Tonnen in 2005) und den größten europäischen Volkswirtschaften (Frankreich 275 Mio. Tonnen, Deutschland 257 Mio. Tonnen und Großbritannien 232 Mio. Tonnen, jeweils in 2005). Österreich liegt auch in diesem Vergleich mit 45 Mio. Tonnen Netto-Importen an 15. Stelle jener Ländern mit positiven CO₂-Handelsbilanzen.

Am anderen Ende des Spektrums liegt China mit 990 Mio. Tonnen CO₂ in 2005 an erster Stelle der Netto-Exporteure, nach einem Anstieg um 63% zwischen den Jahren 1995 und 2005. Die Exporte von CO₂-Rucksäcken der Russischen Föderation überstiegen deren Importe im Jahr 2005 um 330 Mio.

Tonnen, was ihr Platz zwei noch vor Indien mit 136 Mio. Tonnen und Taiwan mit 113 Mio. Tonnen einbrachte. Regional gesehen kann man von einer Umverteilung von Emissionen aus Asien nach Europa und Nordamerika sprechen.

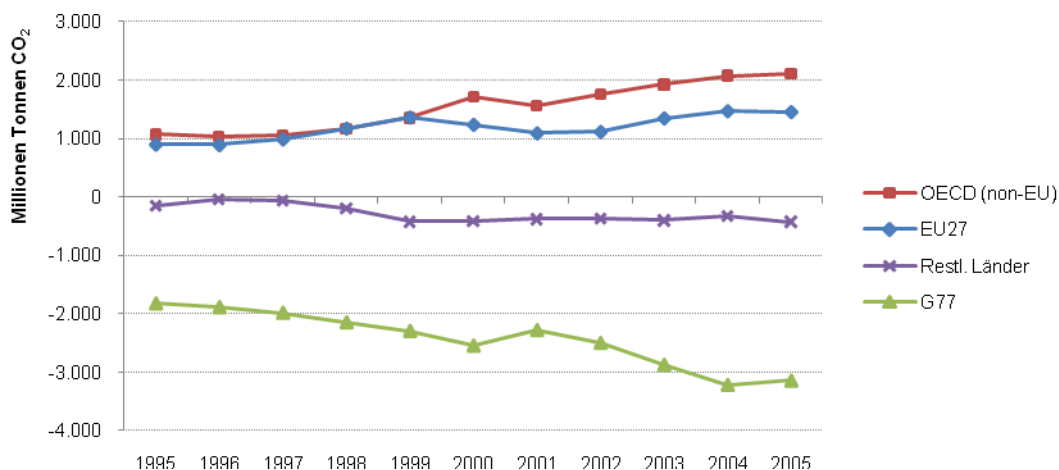
Abbildung 2. Ranking der 10 größten Netto-Importeure und -Exporteure plus Österreich, 1995 und 2005

Beinahe alle Entwicklungsländer finden sich auf der Seite der Netto-Exporteure. Die Gruppe der 77



(G77), bestehend aus 130 Entwicklungs- und Schwellenländern, die bei den UN-Klimaverhandlungen einen wichtigen Verhandlungsblock bilden, weisen CO₂-Handelsbilanzdefizite von mehr als 3 Mrd. Tonnen auf und liefern somit beinahe die gesamten Netto-Importe der EU27 sowie der restlichen OECD-Länder. Abbildung 3 zeigt außerdem, dass sich die Schere in den Jahren 1995 bis 2005 immer weiter aufgetan hat. Die Netto-Importe der EU27 stiegen um 61% auf 1,45 Mrd. Tonnen CO₂, die der restlichen OECD-Länder (u.a. Australien, Japan, Kanada, Korea, Mexiko und die Vereinigten Staaten) verdoppelten sich beinahe auf 2,1 Mrd. Tonnen CO₂.

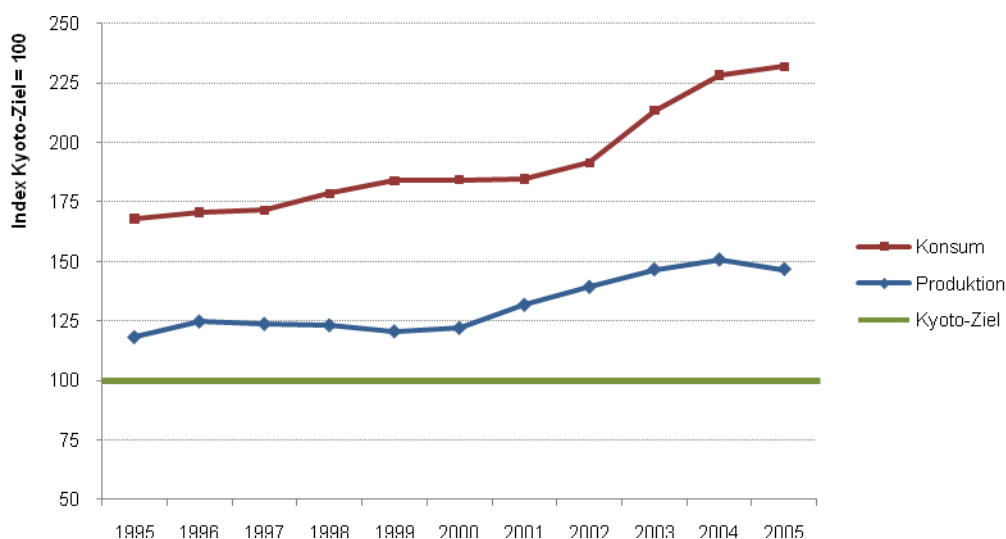
Abbildung 3. CO₂-Handelsbilanzen nach Ländergruppen, 1995 bis 2005



Produktion und Konsum

Österreich verfehlt das Kyoto-Ziel – eine Reduktion der CO₂-Emissionen bis zur Zielperiode 2008-2012 um 13% gegenüber dem Basisjahr 1990 – weit. Schon 1995 lagen die produktionsbedingten (oder territorialen) Emissionen aus Verbrennungsprozessen um 18% über dem Kyoto-Ziel. Im Zeitraum von 1995 bis 2005 stiegen diese um weitere 25% und übertrafen das Kyoto-Ziel 2005 bereits um 47% (siehe Abbildung 4). Die durch Österreichs Konsum verursachten CO₂-Emissionen lagen 1995 bereits deutlich über den Emissionen aus der heimischen Produktion. Ein besonders starker Anstieg vor allem in den Jahren 2003 und 2004 führte dazu, dass Österreichs Konsum am Ende des Betrachtungszeitraums das Kyoto-Ziel um ganze 132% überstieg, während die Produktion das Ziel um „lediglich“ 47% verfehlte.

Abbildung 4. Entwicklung von CO₂-Produktion und -Konsum gegenüber dem Kyoto-Ziel Österreichs, 1995 bis 2005



Die Werte für weitere Länder können dem Anhang 4 des unter www.seri.at/gram-co2 publizierten Endberichts entnommen werden. Diese Zahlen verdeutlichen, dass eine globale Zuweisung der Verantwortung für CO₂-Emissionen nach dem territorialen Prinzip zu einer rechnerischen Besserstellung entwickelter Industrienationen führt, deren Lebensstile und Konsumverhalten noch größere Auswirkungen auf das Klima haben, als die nationalen Emissionsbilanzen vermuten lassen.

Die durchschnittliche jährliche Produktion von CO₂-Emissionen in der EU27 belief sich im Jahr 2005 auf 8,2 Tonnen pro Person, der EU-Konsum verursachte jedoch 11,2 Tonnen CO₂ pro Person. Österreichs Pro-Kopf-Produktion lag mit 9,3 Tonnen pro Person leicht über dem EU-Schnitt und stieg seit 1995 um 20%. Der Konsum von CO₂-Emissionen erreichte in Österreich in 2005 jedoch 14,7 Tonnen pro Person, was etwa ein Drittel höher ist, als im Durchschnitt der EU27 (siehe Anhang 5 im unter www.seri.at/gram-co2 publizierten Endbericht, wo auch Pro-Kopf-Werte für andere Länder entnommen werden können).

Entwicklungsländer bilanzierten 2005 hingegen CO₂-Emissionen von weniger als 3 Tonnen pro Person, wobei der Konsum in diesen Ländern sogar nur 2,1 Tonnen pro Person betrug. Gerade der Konsum der größten Emittenten von CO₂-Emissionen ist also Triebfeder für CO₂-Emissionen auch in anderen Weltregionen.

Ergebnisse nach Produktgruppen und Sektoren

Die Detaillergebnisse für Österreich zeigen produktions- und konsumbedingte Emissionen gegliedert nach deren Ursprungssektoren. In Tabelle 3 sind die Emissionen, die Österreichs Wirtschaft emittiert (Produktion) mit jenen, die durch österreichischen Endverbrauch weltweit emittiert werden (Konsum), absteigend sortiert nach konsumbedingten Emissionen, gegenübergestellt.

Tabelle 3: Österreichs Produktion und Konsum nach Produktgruppen, 2005

Sektor	Produktion		Konsum		Differenz zwischen Produktion und Konsum
	kt CO ₂	Anteil an Gesamtproduktion	kt CO ₂	Anteil am Gesamtkonsum	
Elektrizität	17.513	28,0%	36.554	34,1%	109%
Landtransport	9.308	14,9%	13.128	12,2%	41%
Koks und Raffinerieprodukte	11.845	18,9%	9.344	8,7%	-21%
Eisen und Stahl	2.583	4,1%	6.980	6,5%	170%
Lufttransport	1.985	3,2%	5.985	5,6%	201%
Wassertransport	270	0,4%	4.006	3,7%	1382%
Chemikalien (ohne Pharmazeutika)	1.542	2,5%	3.548	3,3%	130%
Baugewerbe	3.533	5,6%	3.326	3,1%	-6%
Verarbeitete Metallprodukte (o. Maschinen)	78	0,1%	2.958	2,8%	3668%
Gummi und Plastik	718	1,1%	2.149	2,0%	199%
Land- und Forstwirtschaft	1.170	1,9%	1.904	1,8%	63%
Andere nicht-metallische Produkte	1.129	1,8%	1.719	1,6%	52%
Papier	2.258	3,6%	1.521	1,4%	-33%
Bergbau (Energie)	268	0,4%	1.237	1,2%	361%
Nahrungsmittel und Getränke	1.031	1,6%	1.191	1,1%	16%
Möbel und Recycling	55	0,1%	1.097	1,0%	1888%
Pharmazeutika	599	1,0%	961	0,9%	61%
Handel	706	1,1%	954	0,9%	35%
Textilien	324	0,5%	873	0,8%	170%
Bergbau (Metalle und Mineralien)	1.072	1,7%	655	0,6%	-39%
Gesundheitswesen	485	0,8%	497	0,5%	2%
Motorisierte Fahrzeuge	636	1,0%	302	0,3%	-53%
Rest	3.475	5,6%	6.358	5,9%	83%
Gesamt	62.585	100,0%	107.247	100,0%	71%

In beinahe jeder Produktgruppe übersteigen die konsumbedingten CO₂-Emissionen die produktionsbedingten deutlich. Insgesamt konsumiert Österreich 71% mehr Emissionen, als heimisch emittiert werden (ausgenommen jener Emissionen, die direkt in den Haushalten – durch Beheizung und privatem Personenverkehr – anfallen). Die Elektrizität ist sowohl nach dem Produktionsprinzip als auch nach dem Konsumprinzip die größte Quelle von CO₂-Emissionen. Sie verursachte 2005 mit 17,5 Mio. Tonnen rund 28% der von Österreichs Wirtschaft emittierten Emissionen. In der Form von importierter Elektrizität oder als Vorleistungen für Produkte, die im Ausland produziert und in Österreich konsumiert werden, gelangen jedoch darüber hinaus noch weitere CO₂-Rucksäcke der Elektrizitätsproduktion nach Österreich. Es zeigt sich, dass Österreichs Konsum für mehr als doppelt so viele Emissionen aus der Elektrizitätswirtschaft verantwortlich ist, als in Österreich selbst anfallen. Das hat auch damit zu tun, dass die Emissionsintensität der österreichischen Elektrizitätswirtschaft im internationalen Vergleich eher niedrig ist.

Von den in Österreich konsumierten Emissionen aus der Produktion elektrischer Energie stammen nur etwa 35% aus Österreich, weitere 14% aus Deutschland und 10% aus China. Das heißt, dass in Österreich 3,8 Mio. Tonnen CO₂ konsumiert werden, die zuvor in chinesischen Kohlekraftwerken (und anderen chinesischen Elektrizitätswerken) emittiert wurden. Dies geschieht meist in Form von CO₂-Rucksäcken von chinesischen Produkten, die in Österreich konsumiert werden.

Durch höhere Werte von CO₂-Produktion als -Konsum zeichnen sich v.a. die Produktgruppen der motorisierten Fahrzeuge (um 53% weniger CO₂-Emissionen werden konsumiert als produziert), der Bergbau von Metallen und Mineralien (39%), Papier (33%) und die Raffinerieprodukte (21%) aus. Das

bedeutet, dass Österreich in diesen Wirtschaftsbereichen Netto-Exporteur von CO₂-Emissionen ist. Die Importe, Exporte und die jeweiligen Handelsbilanzüberschüsse oder -defizite gehen auch aus Tabelle 4 hervor. Hier wird noch einmal deutlich, wie groß der Anteil der Importe an CO₂-Rucksäcken aus der Elektrizitätsproduktion am Außenhandel ist. 42,6% der Netto-Importe Österreichs stammen alleine aus dieser Produktgruppe. Aber auch Land-, Luft- und Wassertransport finden sich unter den größten Importkategorien.

Tabelle 4: Österreichs Importe und Exporte nach Produktgruppen, 2005

Sektor	Importe		Exporte		Handelsbilanz	
	kt CO ₂	Anteil an Gesamtimporten	kt CO ₂	Anteil an Gesamtexporten	kt CO ₂	Anteil an Gesamtbilanz
Elektrizität	23.880	33,1%	4.839	17,6%	19.041	42,6%
Landtransport	7.305	10,1%	3.486	12,7%	3.819	8,6%
Eisen und Stahl	6.724	9,3%	2.326	8,4%	4.397	9,8%
Lufttransport	5.001	6,9%	1.001	3,6%	4.000	9,0%
Koks und Raffinerieprodukte	4.205	5,8%	6.706	24,3%	-2.501	-5,6%
Wassertransport	3.935	5,4%	199	0,7%	3.736	8,4%
Chemikalien (ohne Pharmazeutika)	3.377	4,7%	1.371	5,0%	2.006	4,5%
Verarbeitete Metallprodukte (o. Maschinen)	2.924	4,0%	45	0,2%	2.879	6,4%
Gummi und Plastik	1.991	2,8%	561	2,0%	1.430	3,2%
Land- und Forstwirtschaft	1.216	1,7%	482	1,8%	734	1,6%
Bergbau (Energie)	1.209	1,7%	240	0,9%	968	2,2%
Andere nicht-metallische Produkte	1.095	1,5%	505	1,8%	590	1,3%
Möbel und Recycling	1.072	1,5%	31	0,1%	1.041	2,3%
Pharmazeutika	877	1,2%	514	1,9%	363	0,8%
Textilien	784	1,1%	234	0,8%	550	1,2%
Medizinische Instrumente	761	1,1%	12	0,0%	749	1,7%
Papier	693	1,0%	1.430	5,2%	-737	-1,7%
Nahrungsmittel und Getränke	571	0,8%	410	1,5%	161	0,4%
Bergbau (Metalle und Mineralien)	360	0,5%	777	2,8%	-417	-0,9%
Motorisierte Fahrzeuge	203	0,3%	537	1,9%	-334	-0,7%
Rest	4.032	5,6%	1.845	6,7%	2.187	4,9%
Gesamt	72.212	100,0%	27.550	100,0%	44.662	100,0%

Die größten CO₂-Rucksäcke der österreichischen Exporte hängen, mit einem Anteil von gut 24% an den Gesamtexporten, an exportierten österreichischen Raffinerieprodukten. Aber auch im Bereich Elektrizität, Landtransport, Eisen und Stahl und Papier weist Österreich große CO₂-Exporte auf. Diese werden jedoch vielfach von noch höheren Importen wett gemacht.

CO₂-Handelspartner Österreichs

Unter den wichtigsten CO₂-Handelspartnern Österreichs befinden sich sowohl unter den Import- als auch unter den Export-Partnern überwiegend Nachbarländer wie Deutschland, die Tschechische Republik, Italien, die Slowakei, die Schweiz und Ungarn. Das ist aufgrund der besonders tiefen Handelsbeziehungen mit diesen Ländern auch verständlich. Deutschland ist etwa sowohl Import- als auch Export-Partner Nummer eins Österreichs. Nur in der Liste der wichtigsten Import-Partner finden sich die beiden Schwellenländer China und Russland auf den Plätzen zwei und drei (siehe Tabelle 5).

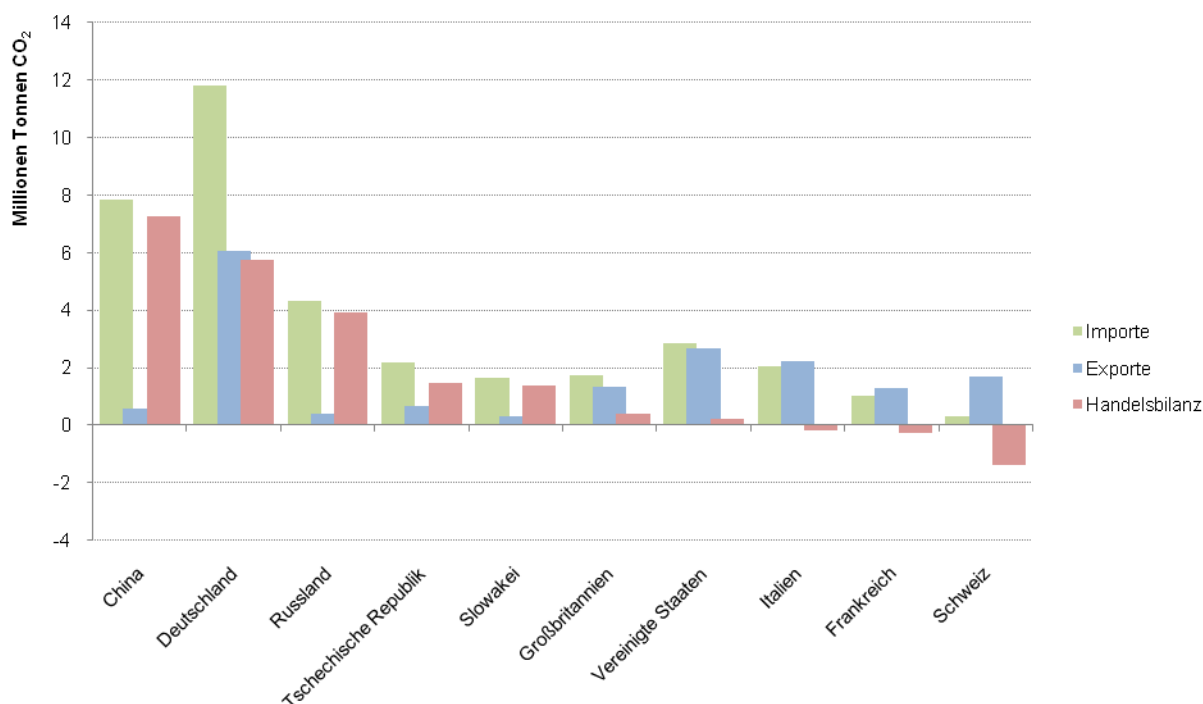
Tabelle 5: Österreichs wichtigste CO₂-Handelspartner, 2005

Import-Partner	Export-Partner
----------------	----------------

Deutschland	1	Deutschland	1
China	2	Vereinigte Staaten	2
Russland	3	Italien	3
Vereinigte Staaten	4	Schweiz	4
Tschechische Republik	5	Großbritannien	5
Italien	6	Frankreich	6
Großbritannien	7	Ungarn	7
Polen	8	Niederlande	8
Slowakei	9	Spanien	9
Niederlande	10	Tschechische Republik	10

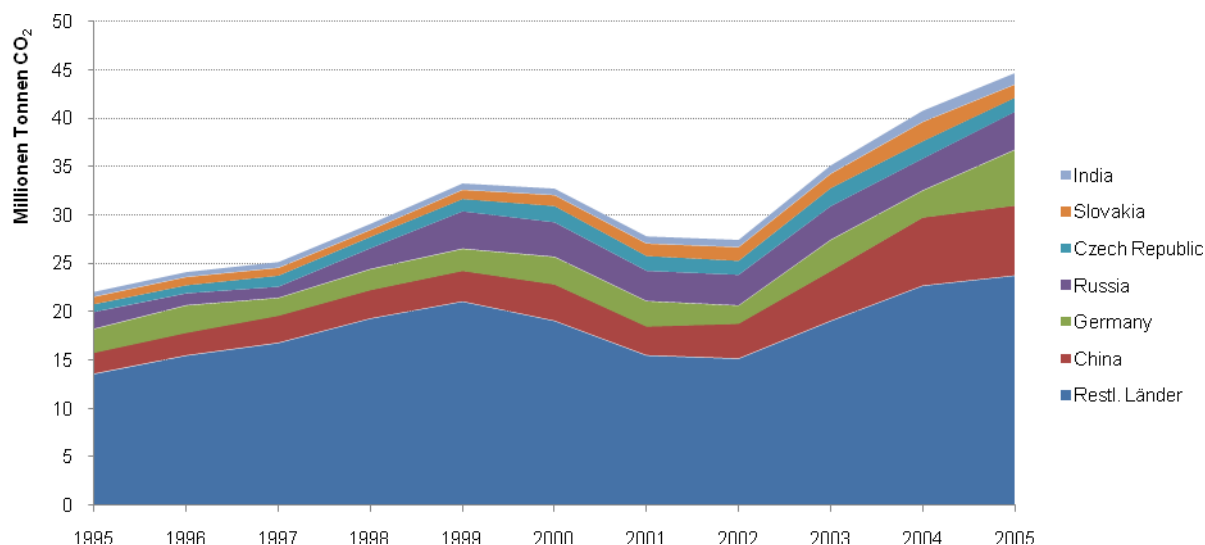
Abbildung 5 zeigt den Umfang Österreichs Handelsbeziehungen mit den wichtigsten Handelspartnern sortiert nach der Höhe der Handelsbilanz. Österreich weist sehr hohe CO₂-Importe aus China auf, denen nur geringe CO₂-Exporte gegenüberstehen. Das führt dazu, dass China in 2005 mit gut 7 Mio. Tonnen der größte Lieferant von CO₂-Rucksäcken nach Österreich ist. Die größten Importe von CO₂-Rucksäcken stammen aus Deutschland, dem gegenüber stehen auch die größten CO₂-Exporte Österreichs. In Summe rangiert Deutschland damit auf Platz zwei der Netto-Exporteure nach Österreich. Russland zeigt ein ähnliches Bild wie China mit hohen Importen und niedrigen Exporten. Die Vereinigten Staaten und Italien weisen beide relativ hohe CO₂-Handelsvolumina mit Österreich auf. Importe und Exporte gleichen sich mit diesen Ländern jedoch annähernd aus. Die größten CO₂-Exportüberschüsse erzielt Österreich mit der Schweiz gefolgt von Frankreich.

Abbildung 5. Bilaterale Handelsströme und Handelsbilanz von Österreich mit seinen größten CO₂-Handelspartnern, 2005



Im Zeitverlauf hat sich Österreichs CO₂-Außenhandelsbilanzsaldo zwischen 1995 und 2005 in etwa verdoppelt (siehe Abbildung 6), wobei es 1999 zu einem vorübergehenden Höhepunkt und einer Reduktion der CO₂-Importüberschüsse bis 2002 kam. In den letzten Jahren des Betrachtungszeitraums stiegen die Netto-Importe jedoch wieder stark an. Vor allem China und Deutschland vergrößerten seither ihre Netto-Exporte nach Österreich.

Abbildung 6. Österreichs CO₂-Außenhandelsbilanz nach Handelspartnern, 1995 bis 2005



Strukturelle Pfadanalyse

Die Technik der strukturellen Pfadanalyse erlaubt es, besonders emissionsintensive Pfade zu erkennen und zu analysieren (wie später noch gezeigt werden wird). Aber auch die CO₂-Rucksäcke von Produktgruppen, wie in Tabelle 6 gezeigt, lassen sich damit berechnen. Die Tabelle zeigt die direkten und indirekten Emissionen, die weltweit durch die Produktion von bestimmten Produktgruppen, die in Österreich konsumiert werden, emittiert werden, die CO₂-Rucksäcke von Produktgruppen also. Durch die öffentliche und private Endnachfrage Österreichs nach Energie in Form von Elektrizität, Wärme und privatem Transport, werden insgesamt 27,7 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen verursacht. Im Gegensatz dazu gibt die Zahl des Elektrizitätskonsums in Tabelle 3 Auskunft darüber, wie viel CO₂ weltweit durch österreichischen Konsum in der Elektrizitätsproduktion entsteht. Die Zahl hier wiederum spiegelt nicht nur Emissionen aus der Energieversorgung wider, sondern auch aus anderen Bereichen, die Vorleistungen für die Versorgung der österreichischen Endnachfrage mit Energie erbracht haben.

Zum Beispiel verursacht der Konsum von Textilien aus China durch die Nutzung von Elektrizität in der Textilverarbeitung Emissionen in der chinesischen Elektrizitätswirtschaft. Diese Emissionen werden gemäß der in Tabelle 3 verwendeten Methode der Produktgruppe Elektrizität zugeordnet. Hier jedoch werden diese Emissionen der Produktgruppe Textilien zugeordnet, was zusätzliche wertvolle Informationen über die Verantwortung des Konsums bestimmter Produkte liefert.

Tabelle 6 zeigt, dass der direkte Konsum von Energie (inklusive jener Emissionen, die direkt in den Haushalten – durch Beheizung und privatem Personenverkehr – anfallen) mit 22,9% der Hauptverursacher von konsumbedingten CO₂-Emissionen Österreichs ist. Der Güter- und Personentransport liegt mit einem Anteil von 13,9% an zweiter Stelle. Der Konsum von Maschinen, Geräten und Metallprodukten verursacht immerhin noch knapp 10% Österreichs konsumbedingter Emissionen, gefolgt von den Dienstleistungen inklusive Handel (9,3%) und dem Baugewerbe (8,3%).

Tabelle 6: Österreichs CO₂-Konsum nach Produktgruppen, kt CO₂, 2005

Produktgruppe	Direkte & indirekte Emissionen	Anteil
Energie	27.776	22,9%
Güter- und Personentransport	16.927	13,9%
Maschinen, Geräte und Metallprodukte	11.887	9,8%
Handel und andere Dienstleistungen	11.251	9,3%

Baugewerbe (Gebäuden und Infrastruktur)	10.029	8,3%
Fahrzeuge	7.415	6,1%
Nahrungsmittel	6.851	5,6%
Öffentliche Dienstleistungen	6.730	5,5%
Gesundheitswesen	6.719	5,5%
Textilien	6.329	5,2%
Möbel und Recycling	3.670	3,0%
Papier und Holzprodukte	2.080	1,7%
Reinigungsmittel und andere Chemikalien	2.015	1,7%
Plastik und andere nichtmetallische Produkte	1.474	1,2%
Bergbau	268	0,2%
Metalle	125	0,1%
Gesamt	121.548	100,0%

Mit einem Anteil von 8,3% an den österreichischen Konsumemissionen ist das Baugewerbe der größte Einzelsektor. In Tabelle 7 analysieren wir deshalb die Emissionspfade dieses Sektors und seiner Vorleistungen genauer. Von den Gesamten durch den Konsum von Produkten des Baugewerbes verursachten Emissionen (10 Mio. Tonnen) stammen rund 25% aus direkten Emissionen des Baugewerbes. Die indirekten Emissionen setzen sich aus verschiedenen Vorleistungen zusammen. So werden bei der Erzeugung von in der Bauwirtschaft weiterverarbeitetem Plastik und anderen nichtmetallischen Produkten 1.638 Kilotonnen CO₂ emittiert, was 22% der gesamten Vorleistungen des Baugewerbes entspricht. Bei der Produktion der vom Baugewerbe benötigten Maschinen, Geräte und Metallprodukte werden weitere 1.404 Kilotonnen CO₂ freigesetzt (19% der Vorleistungen). Alle Emissionen aus der Herstellung von Vorleistungen des Baugewerbes können jedoch auch wieder in direkte Emissionen, etwa aus der Fertigung von Maschinen, Geräten und Metallprodukten, und indirekte Emissionen, aus der Herstellung von Vorleistungen, die wiederum von diesem Sektor benötigt werden, unterteilt werden.

Tabelle 7: Analyse der CO₂-Pfade der österreichischen Bauwirtschaft, kt CO₂, 2005

Sektor	Direkte Emissionen	Indirekte Emissionen	Gesamte Emissionen
Baugewerbe	2.471	7.558	10.029
Vorleistungen	Direkte Emissionen	Indirekte Emissionen	Anteil an den Vorleistungen
Plastik und andere nichtmetallische Produkte	561	1.077	22%
Maschinen, Geräte und Metallprodukte	252	1.152	19%
Metalle	269	727	13%
Baugewerbe	181	617	11%
Handel und andere Dienstleistungen	39	485	7%
Energie	272	199	6%
Papier und Holzprodukte	65	391	6%
Güter- und Personentransport	288	89	5%
Bergbau	102	230	4%
Reinigungsmittel und andere Chemikalien	38	86	2%
Gesundheitswesen	19	45	1%
Rest	48	327	5%
Gesamt	2.132	5.426	100%

Die Pfade ließen sich über viele Vorleistungsstufen weiterverfolgen. Insgesamt wurden in diesem Projekt zehn Stufen (bezeichnet als Stufen 0 bis 9) analysiert. Im soeben gezeigten Beispiel entspricht das Baugewerbe der Stufe 0, deren Vorleistungen der Stufe 1. Die Vorleistungen dieser Sektoren

würden folglich Stufe 2 entsprechen, usw.

Tabelle 8 listet die 30 CO₂-intensivsten Pfade des Österreichischen Konsums. In der Pfadbeschreibung steht jeweils zuerst die Bezeichnung des Ursprungslandes (Erklärung der Abkürzungen sind im Anschluss an die Tabelle zu finden) gefolgt vom Ursprungssektor der Emissionen. Ein Pfeil kennzeichnet den Weg der Emissionsrucksäcke bis sie im jeweiligen Nachfragesektor angelangt sind. Außerdem ist der Anteil des Pfades an den gesamten österreichischen Konsumemissionen angegeben. Stufe bezeichnet, wie zuvor schon erklärt, die Stufe in der Prozesskette. Stufe 0 bedeutet, dass die Emissionen direkt aus dem Nachfragesektor (also jenem Sektor, aus dem die Produkte letztlich von österreichischen Haushalten und öffentlichen Einrichtungen nachgefragt werden) stammen. Stufe 1 heißt, dass die Emissionen aus einer Vorleistung erster Ebene eines Nachfragesektors stammen, usw.

Elektrizität scheint in vielen dieser Pfade auf. An erster, fünfter, achter und 23. Stelle stehen jeweils Emissionen aus der Elektrizitätswirtschaft. An erste Stelle sind es direkte Emissionen aus der E-Wirtschaft durch den Konsum von Elektrizität. An fünfter Stelle sind es die Emissionen, die in der Elektrizitätswirtschaft im Rahmen der Produktion von Vorleistungen für selbige entstehen. Bei dem achtgereihten Pfad handelt es sich um Emissionen aus der Erzeugung der Vorleistungen dieser Vorleistungen. Das ist darauf zurückzuführen, dass die österreichische Elektrizitätsproduktion selbst hohe Mengen an elektrischer Energie benötigt. Dies ist wohl ganz besonders der Fall bei Pumpspeicherkraftwerken, die nachts Wasser mit Hilfe günstiger elektrischer Energie in höher gelegene Speicherbecken pumpen um dieses zu Zeiten hoher Strompreise wieder zur Stromerzeugung zu nutzen. Auch Emissionen der deutschen Elektrizitätswirtschaft als Vorleistungen für die österreichische finden sich auf dieser Liste. Es werden also auch größere Mengen an Elektrizität und damit deren CO₂-Rucksäcke von Deutschland importiert. Auch Koks und Raffinerieprodukte sowie Transportleistungen finden sich mehrfach auf dieser Liste.

Tabelle 8: Die 30 CO₂-intensivsten Pfade vom emittierenden Sektor (links) bis zum Nachfragesektor (rechts), kt CO₂, 2005

Rang	Stufe	direkte Emissionen	Anteil	Pfad
1	0	4.544	3,74%	AT, Elektrizität
2	0	3.901	3,21%	AT, Koks und Raffinerieprodukte
3	0	3.460	2,85%	AT, Landtransport
4	0	2.471	2,03%	AT, Baugewerbe
5	1	1.819	1,50%	AT, Elektrizität → AT, Elektrizität
6	0	1.172	0,96%	RW, Lufttransport ²
7	1	753	0,62%	RW, Wassertransport ² → AT, Handel
8	2	728	0,60%	AT, Elektrizität → AT, Elektrizität → AT, Elektrizität
9	0	656	0,54%	DE, Koks und Raffinerieprodukte
10	0	531	0,44%	RW, Wassertransport ²
11	0	511	0,42%	AT, Lufttransport
12	0	475	0,39%	SK, Koks und Raffinerieprodukte
13	0	471	0,39%	AT, Gesundheitswesen
14	0	458	0,38%	DE, Landtransport
15	0	444	0,37%	AT, Nahrungsmittel und Getränke
16	1	369	0,30%	AT, Elektrizität → AT, Gesundheitswesen
17	1	350	0,29%	DE, Elektrizität → AT, Elektrizität
18	0	335	0,28%	AT, Handel
19	1	335	0,28%	AT, Landtransport → AT, Handel

² Die Emissionsintensitäten in den Luft- und Wassertransportsektoren der Region Rest der Welt sind sehr hoch. Das liegt zum einen an besonders niedrigen Preisen für Transportleistungen und emissionsintensiveren Technologien in Entwicklungsländern, zum anderen aber an einem bisher ungelösten Datenproblem. Diese Zahlen müssen deshalb vorsichtig interpretiert werden.

20	0	321	0,26%	AT, Öffentliche Verwaltung und Verteidigung
21	0	321	0,26%	AT, Papier
22	0	314	0,26%	AT, Land- und Forstwirtschaft
23	3	291	0,24%	AT, Elektrizität → AT, Elektrizität → AT, Elektrizität → AT, Elektrizität
24	0	278	0,23%	RW, Landtransport
25	1	261	0,21%	AT, Elektrizität → AT, Öffentliche Verwaltung und Verteidigung
26	0	252	0,21%	RW, Möbel und Recycling
27	1	247	0,20%	AT, Elektrizität → AT, Bildung
28	1	237	0,19%	AT, Andere nicht-metallische Produkte → AT, Baugewerbe
29	0	233	0,19%	AT, Andere öffentliche und soziale Dienstleistungen
30	0	213	0,18%	AT, Bildung

AT = Österreich, DE = Deutschland, RW = Rest der Welt, SK = Slowakei

Datensatz

Die Ergebnisse für die CO₂-Rucksäcke der österreichischen Importe und Exporte wurden in sektoraler Form und für die Jahre 1995 bis 2005 aufbereitet und in eine Datenbank integriert. Damit wurde der Datensatz für eine benutzerfreundliche Anwendung in Klimaszenarien und Politikevaluationen zugänglich zu gemacht.

Der Datensatz wird im MS Excel Format (xls) bereitgestellt. Die sektorale Gliederung entspricht jener der IO-Tabellen der OECD (siehe Anhang 6 des unter www.seri.at/gram-co2 publizierten Endberichts). Die Datei ist in zwei Tabellen untergliedert, die die Emissionsimporte und -exporte Österreichs für die Jahre 1995 bis 2005 wiedergeben. Die Werte in der Importtabelle entsprechen den CO₂-Emissionen je Ursprungssektor und -land der österreichischen Importe. Die Werte der Exporttabelle entsprechen den Emissionsexporten der österreichischen Wirtschaft nach Sektoren, unterteilt nach Zielländern.

Auf die Ergebnisse dieses Projektes lassen sich weitere Arbeiten in vielerlei Hinsicht aufbauen. So können Analysen lebenszyklusweiter Auswirkungen bestimmter wirtschaftlicher Strukturveränderungen sowie von Veränderungen in Lebensstilen und Konsummustern auf das Klima durchgeführt werden, da mit einem solchen Modell nationale und internationale Auswirkungen in detailreicher Form abgebildet werden können.

Die Ergebnisse finden Verwendbarkeit für künftige Klimaszenarien und Modellierungsarbeiten. Arbeiten zur Quantifizierung von Auswirkungen österreichischer Klimaschutzmaßnahmen können von dem in diesem Projekt angewandten Analyserahmen profitieren, da dieser auch internationale Handelsverflechtungen berücksichtigt und somit realitätskonforme Evaluierungsergebnisse liefert. Die in diesem Projekt generierten Daten sind daher für zukünftige Klimapolitik-Szenarien von Bedeutung, da sie illustrieren können, ob nationale Maßnahmen auch im globalen Kontext zu den erwünschten Ergebnissen führen.

Diese Studie kann außerdem einen wertvollen Beitrag zur Diskussion um die (internationale) Verantwortlichkeit für negative Umweltfolgen von Produktion und Konsum leisten. In dieser Debatte wird diskutiert, ob Produzenten oder Konsumenten die Verantwortung für Umweltfolgen von Produktions- und Konsumaktivitäten zugeschrieben werden sollte, oder ob die Verantwortung zwischen den Akteuren aufgeteilt wird (Gallego and Lenzen, 2005; Lenzen et al., 2006; Rodrigues et al., 2006).

Die Ergebnisse der Studie verdeutlichen, dass eine globale Zuweisung der Verantwortung für CO₂-Emissionen nach dem territorialen Prinzip zu einer rechnerischen Besserstellung entwickelter Industrienationen führt, deren Lebensstile und Konsumverhalten noch größere Auswirkungen auf das Klima haben, als die nationalen Emissionsbilanzen vermuten lassen. Andererseits kann man natürlich sagen, dass auch die Produzenten über die Einnahmen aus dem Verkauf ihrer Waren profitieren. Wir schlagen deshalb einen Ansatz der geteilten Verantwortung vor, der zwar die Produzenten nicht aus ihrer Verantwortung entlässt, den Konsumentenländern jedoch einen Teil dieser Verantwortung überträgt.

Die Analyse der Ergebnisse ermöglicht weiters auch, Folgen einer Revision der internationalen CO₂-

Bilanzierung und des damit verbundenen Emissionsrechtehandels auf einzelne Sektoren der österreichischen Wirtschaft und auf den Konsum bestimmter Produktgruppen abzuschätzen.

4 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Folgende Publikationen sind aus dem Projekt entstanden:

Journal articles

Kirsten S. Wiebe, Martin Bruckner, Stefan Giljum and Christian Lutz, 2012. Calculating energy-related CO₂ emissions embodied in international trade using a global input-output model. *Economic Systems Research*, online first <http://dx.doi.org/10.1080/09535314.2011.643293>.

Kirsten S. Wiebe, Martin Bruckner, Stefan Giljum, Christian Lutz and Christine Polzin, *under review*. The influence of the OECD countries' consumption on carbon and materials embodied in international trade of the BRICSA countries. *Journal of Industrial Ecology*.

Working and discussion papers

Bruckner, M., Giljum, S., Khoroshun, O., Lutz, C. and K. Wiebe. 2009. Die Klimabilanz des österreichischen Außenhandels. Final report, SERI, Vienna, December 2009.

Bruckner, M., Polzin, C. and Giljum S. 2010. Counting CO₂ emissions in a Globalised World. Producer versus consumer-oriented methods of CO₂ accounting. *DIE Discussion Paper 9/2010*. Available at: http://seri.at/wp-content/uploads/2009/11/Bruckner-et-al-2010_Counting-CO2-emissions.pdf.

Conference proceedings and conference presentations

Bruckner, M., Wiebe, K.S., Giljum, S., Lutz, C. and C. Polzin, 2010. CO₂ embodied in international trade – Evidence for carbon leakage between 1995 and 2005. *ISEE Conference 2010*, Oldenburg, Germany.

5 Referenzen

Ahmad, N., Wyckoff, A. 2003. Carbon dioxide emissions embodied in international trade. STI Working Paper DSTI/DOC 15, OECD, Paris.

Atkinson, G., Hamilton, K. 2002. International trade and the "ecological balance of payments". *Resources Policy* 28(1-2), 27-37.

Defourny, J., Thorbecke, E. 1984. Structural path analysis and multiplier decomposition within a social accounting matrix framework. *Economic Journal* 94, 111-136.

European Council. 2006. Renewed EU Sustainable Development Strategy. 10117/06, Brussels.

Fieleke, N.S. 1975. The energy trade: the United States in deficit. *New England Economic Review*, 25-34.

Gallego, B., Lenzen, M. 2005. A consistent input-output formulation of shared producer and consumer responsibility. *Economic Systems Research* 17, 365-391.

Giljum, S. 2004. Trade, material flows and economic development in the South: the example of Chile. *Journal of Industrial Ecology* 8(1-2), 241-261.

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., Lutz, C., Jungnitz, A. 2008. The Global Resource Accounting Model (GRAM). A methodological concept paper. *SERI Studies 8*, Sustainable Europe Research Institute, Vienna.

Haukland, E. 2004. Trade and environment: Emissions intensity of Norway's imports and exports. Unpublished Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway.

- IEA. 2008a. CO2 Emissions from Fuel Combustion, 1971-2006. International Energy Agency, Paris, France.
- IEA. 2008b. Energy Balances of Non-OECD Countries, 1971-2006. International Energy Agency, Paris, France.
- IEA. 2008c. Energy Balances of OECD Countries, 1960-2006. International Energy Agency, Paris, France.
- International Monetary Fund. 2009. International Financial Statistics (IFS). available at: <http://www.imfstatistics.org/>.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- Lenzen, M. 2003. Environmentally important paths, linkages and key sectors in the Australian economy. *Structural Change and Economic Dynamics* 14, 1-34.
- Lenzen, M., Murray, J., Sack, F., Wiedmann, T. 2006. Shared producer and consumer responsibility – theory and practice. ISA Research Paper 01-06, University of Sydney.
- Lenzen, M., Pade, L.-L., Munksgaard, J. 2004. CO2 multipliers in multi-region input-output models. *Economic Systems Research* 16, 391-412.
- Lenzen, M., Wiedmann, T., Foran, B., Dey, C., Widmer-Cooper, A., Williams, M., Ohlemüller, R. 2007. Forecasting the Ecological Footprint of Nations: a blueprint for a dynamic approach. ISA Research Report 07-01, The University of Sydney, Stockholm Environment Institute, University of York.
- Leontief, W. 1970. Environmental Repercussions and the Economic System. *Review of Economics and Statistics* 52, 262-272.
- Leontief, W., Ford, D. 1970. Environmental Repercussions and the Economic System. *Review of Economics and Statistics* 52, 262-272.
- Machado, G., Schaeffer, R., Worrell, E. 2001. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach. *Ecological Economics* 39(3), 409-424.
- Miller, R.E., Blair, P.D. 1985. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Minx, J., Peters, G., Wiedmann, T., Barrett, J. 2008. GHG emissions in the global supply chain of food products. Paper presented at the International Input-Output Meeting on Managing the Environment, Seville, Spain.
- Muradian, R., O'Connor, M., Martinez-Alier, J. 2002. Embodied pollution in trade: estimating the 'environmental load displacement' of industrialised countries. *Ecological Economics* 41(1), 51-67.
- Nakano, S., Okamura, A., Sakurai, N., Suzuki, M., Tojo, Y., Yamano, N. 2009. The Measurement of CO2 Embodiements in International Trade: Evidence from the Harmonised Input-Output and Bilateral Trade Database. STI Working Paper 2009/3 (DSTI/DOC(2009)3), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Directorate for Science, Technology and Industry, Economic Analysis and Statistics Division, Paris, France.
- Nansai, K., Kagawa, S., Kondo, Y., Suh, S. 2008. Global Link Input-Output Model: Its Accounting Framework and Applications, Proceedings of the 8th International Conference on EcoBalance, Tokyo, Japan.
- Nijdam, D.S., Wilting, H.C., Goedkoop, M.J., Madsen, J. 2005. Environmental Load from Dutch Private Consumption. How Much Damage Takes Place Abroad? *Journal of Industrial Ecology* 9(1-2), 147-168.
- OECD. 2006. STAN Bilateral Trade Database (Edition 2006): 1988-2004. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD. 2009. Input-Output Tables (Edition 2009): 1995 - 2005. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Peters, G. 2008. Reassessing Carbon Leakage. Paper presented at the Eleventh Annual Conference on Global Economic Analysis - "Future of Global Economy", Helsinki, Finland.
- Peters, G., Briceno, T., Hertwich, E. 2004. Pollution embodied in Norwegian consumption. NTNU Working Paper 6/2004, Trondheim.
- Peters, G., Hertwich, E. 2006a. Structural Analysis of International Trade: Environmental Impacts of Norway. *Economic Systems Research* 18(2), 155-181.

- Peters, G.P., Hertwich, E. 2004. Production Factors and Pollution Embodied in Trade: Theoretica. Development. Working Papers 5/2004, University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway.
- Peters, G.P., Hertwich, E.G. 2006b. Pollution embodied in trade: The Norwegian case. *Global Environmental Change* 16(4), 379-387.
- Peters, G.P., Hertwich, E.G. 2006c. Structural analysis of international trade: Environmental impacts of Norway. *Economic Systems Research* 18(2), 155-181.
- Peters, G.P., Hertwich, E.G. 2008a. CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. *Environmental Science & Technology* 42(5), 1401-1407.
- Peters, G.P., Hertwich, E.G. 2008b. Trading Kyoto. *Nature Reports Climate Change* 2, 40-41.
- Rodrigues, J., Domingos, T., Giljum, S., Schneider, F. 2006. Designing an indicator of environmental responsibility. *Ecological Economics* 59, 256-266.
- Schütz, H., Bringezu, S., Moll, S. 2004. Globalisation and the shifting environmental burden. Material trade flows of the European Union. Wuppertal Institute, Wuppertal.
- Sonis, M., Hewings, G.J.D. 1998. Economic complexity as network complication: Multiregional input-output structural path analysis. *The Annals of Regional Sciences* 32(3), 407-436.
- Turner, K., Lenzen, M., Wiedmann, T., Barrett, J. 2007. Examining the Global Environmental Impact of Regional Consumption Activities - Part 1: A Technical Note on Combining Input-Output and Ecological Footprint Analysis. *Ecological Economics* 62 (1), 37.
- Walter, I. 1973. The pollution content of American trade. *Western Economic Journal* 9(1), 61-70.
- Wiedmann, T. 2009a. A first empirical comparison of energy Footprints embodied in trade - MRIO versus PLUM. *Ecological Economics* 68(7), 1975-1990.
- Wiedmann, T. 2009b. A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics* 69(2), 211-222.
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K., Barrett, J. 2007. Examining the Global Environmental Impact of Regional Consumption Activities - Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics* 61 (1), 15-26.
- Wiedmann, T., Minx, J., Barrett, J., Wackernagel, M. 2006. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. *Ecological Economics* 56, 28-48.
- Wiedmann, T., Wood, R., Lenzen, M., Minx, J., Guan, D., Barrett, J. 2008a. Development of an Embedded Carbon Emissions Indicator - Producing a Time Series of Input-Output Tables and Embedded Carbon Dioxide Emissions for the UK by Using a MRIO Data Optimisation System. Report to the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra, London.
- Wiedmann, T., Wood, R., Minx, J., Lenzen, M., Harris, R. 2008b. Emissions Embedded in UK Trade – UK-MRIO Model Results and Error Estimates. Paper presented at the International Input-Output Meeting on Managing the Environment, Seville, Spain.
- Wilting, H.C. 2008. Analysis of the Sustainability of Supply Chains with a Multi-Regional Input-Output Model. Paper presented at the International Input-Output Meeting on Managing the Environment, Seville, Spain.
- Wood, R. 2008. Spatial Structural Path Analysis - Analysing the Greenhouse impacts of trade substitution. Paper presented at the International Input-Output Meeting on Managing the Environment, Seville, Spain.
- Wood, R., Lenzen, M. in press. Temporal Structural Path Analysis. *Energy Economics* in press.
- Yamano, N., Ahmad, N. 2006. The OECD's Input-Output Database - 2006 Edition. STI Working Paper 2006/8 (DSTI/DOC(2006)8), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Directorate for Science, Technology and Industry, Economic Analysis and Statistics Division, Paris, France.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.