

Die Klimabilanz des österreichischen Außenhandels

Endbericht

**Martin Bruckner ^a, Stefan Giljum ^a, Oleksii Khoroshun ^b,
Christian Lutz ^b, Kirsten Wiebe ^b**

^a Sustainable Europe Research Institute (SERI), Wien, Österreich

^b Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS), Osnabrück, Deutschland

Dezember 2009

Danksagung

Dieses Projekt, mit dem Titel „Erstellung einer Datenbank der in Österreichs Importen und Exporten enthaltenen CO₂-Emissionen“ (Vertragsnummer A760462), wurde mit Mitteln des Klima- und Energiefonds, einer Initiative der österreichischen Bundesministerien für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sowie für Verkehr, Innovation und Technologie, unterstützt.

Kurzzusammenfassung

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.

Schlüsselwörter: Economy-Wide Carbon Accounting, internationaler Handel, Konsumentenverantwortung, multi-regionale Input-Output Analyse

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	6
2	ANSÄTZE DER CO₂-BILANZIERUNG	7
3	BERECHNUNG DER CO₂-RUCKSÄCKE	8
3.1	INPUT-OUTPUT-MODELLE	9
3.2	DAS GLOBAL RESOURCE ACCOUNTING MODEL (GRAM)	12
3.3	ANBINDUNG VON EMISSIONEN	18
3.4	BERECHNUNG SEKTORALER CO ₂ -EMISSIONEN	19
3.5	STRUKTURELLE PFADANALYSE.....	22
4	ERGEBNISSE.....	24
4.1	CARBON LEAKAGE.....	24
4.2	CO ₂ -HANDELSBILANZ	25
4.3	PRODUKTION UND KONSUM	27
4.4	CO ₂ -HANDELSPARTNER ÖSTERREICHS	30
4.5	STRUKTURELLE PFADANALYSE.....	32
5	DATENSATZ	36
5.1	FORM DES DATENSATZES.....	36
5.2	ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN	36
	REFERENZEN.....	38
	ANHANG.....	41

1 Einleitung

Dieser Endbericht ist Teil des Forschungsprojektes “Die Klimabilanz des österreichischen Außenhandels“, finanziert vom österreichischen Klima- und Energiefonds (siehe http://www.seri.at/GRAM_CO2). Im Rahmen dieses Projekts, wurde eine Datenbank der in Österreichs Außenhandel enthaltenen CO₂-Emissionen, so genannten CO₂-Rucksäcken, erstellt.

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 Strukturforschung (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.

2 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

Umfang \ Ansatz	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 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 Energieverbrauchsfaktoren 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.

3.1 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).

3.1.1 Single-Region Input-Output (SRIO) Modelle

So genannte Single-Region Input-Output (SRIO) Modelle wenden die Annahme an, dass importierte Güter und Dienstleistungen mit der gleichen Technologie produziert werden wie die heimische Produktion. Sie simulieren also vollständig autonome Ökonomien, die ihre Endnachfrage ausschließlich aus heimischer Produktion befriedigen (Lenzen et al., 2004). Studien zeigen, dass die Umwelteffizienz einzelner Wirtschaftssektoren von Land zu Land beträchtliche Unterschiede aufweist (Haukland, 2004; Lenzen et al., 2004; Peters and Hertwich, 2006b) da unterschiedliche Technologien angewandt werden und Wirtschaftsstrukturen sich unterscheiden. Das ist vor allem dann der Fall wenn die Beziehungen von industrialisierten Ländern und Entwicklungsländern untersucht werden (Haukland, 2004).

3.1.2 Multi-regionale Input-Output (MRIO) Modelle

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 SRIO 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).

„Echte“ MRIO Modelle¹ werden, je nach Umfang der abgebildeten Handelsbeziehungen, wiederum in zwei Gruppen unterteilt (Lenzen et al., 2004):

1. Unidirektionaler Handel:

Unidirektionale MRIO Modelle bilden sämtliche Handelsflüsse zwischen dem untersuchten Land und allen anderen modellierten Ländern ab. Im Fall der hier vorliegenden Untersuchung der CO₂-Bilanz des österreichischen Außenhandels würden in einem solchen Modell etwa sämtliche Handelsbeziehungen Österreichs mit anderen modellierten Ländern voll abgebildet, wodurch die Emissionsintensität der Importe Österreichs mit der jeweiligen Wirtschaftsstruktur und Technologie der Ursprungsländer berechnet werden würde. Für die Importe aller anderen modellierten Länder und Weltregionen wird wie bei SRIO Modellen davon ausgegangen, dass diese mit den jeweils heimischen Produktionsstrukturen und CO₂-Emissionsfaktoren bereitgestellt werden.

2. Multidirektionaler Handel:

Diese Art von Modellen umfasst sämtliche Handelsbeziehungen zwischen allen modellierten Ländern und Regionen. Die Ermittlung sämtlicher Handelsflüsse basiert hierbei auf der jeweiligen Produktions-, Energiebereitstellungs- und CO₂-Emissionsstruktur des Ursprungslandes.

Vor allem in den letzten Jahren wurden vermehrt komplexe multi-regionale multi-sektorale IO-Modelle eingesetzt um Umweltbelastungen entlang von internationalen Produktionsketten zu

¹ Es wird zwischen verbundenen SRIO Modellen und „echten“ MRIO Modellen unterschieden. Bei ersteren werden nationale IO-Tabellen exogen über bilaterale Handelsdaten miteinander verbunden. Indirekte Emissionen werden durch separates Lösen jedes nationalen Modells berechnet, wodurch Zweit- und Drittrundeneffekte keine Berücksichtigung finden (siehe Wiedmann et al., 2007).

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 6² 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 gehobene 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

² GTAP (Global Trade Analysis Project) ist ein globales Netzwerk von WissenschaftlerInnen die quantitative Analysen auf Basis von Input-Output-Modellen durchführen und wird vom Center for Global Trade Analysis der Purdue University koordiniert (siehe <http://www.gtap.agecon.purdue.edu>). GTAP stellt umfangreiche Datensammlungen und Hilfsmittel zur Erstellung globaler ökonomischer Modelle zur Verfügung. GTAP 6 ist die sechste und zurzeit aktuellste Version des globalen Datensatzes.

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.

3.2 Das Global Resource Accounting Model (GRAM)

Das Global Resource Accounting Model (GRAM) ist ein multi-regionales Input-Output Modell, wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, das im Rahmen des Projekts petrE³ 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 Emissions-Kalkulation 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).

3.2.1 Datenquellen

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

³ "Resource productivity, environmental tax reform and sustainable growth in Europe", unterstützt durch die Anglo-German Foundation (AGF). Für weitere Informationen über das Projekt siehe <http://www.petre.org.uk/>.

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.

CO₂-Emissionen der IEA

Zur Berechnung der CO₂-Rucksäcke des internationalen Handels sind sektorale Basisdaten für produktionsbezogene CO₂-Emissionen erforderlich. Diese werden aus (IEA, 2008a) entnommen. Diese Daten liegen für die ganze Welt und für alle 53 explizit modellierten sowie für alle OPEC Länder vor. Emissionen für den Rest der Welt wurden als Restwert berechnet. Die Daten liegen in der Gliederung, wie in Tabelle 2 abgebildet, vor. Wir benutzen die Daten des Sektorenansatzes („Sectoral Approach“)⁴. Zeile 1 enthält die gesamten Emissionen errechnet mit dem Sektorenansatz. In Spalte „Gesamt“ sind die Emissionen aller Energieträger und in den vier Spalten rechts davon die Emissionen nach Kohle und Torf, Gas, Öl, und andere Energieträger abgebildet. Die sektorale Aufteilung der Emissionen in Zeilen 2 bis 9 und 14 erfolgt mit Hilfe der Energiebilanzen (siehe Kapitel 3.4.3 für eine detaillierte Beschreibung).

Tabelle 2: Österreichs Emissionen in 2000, Millionen Tonnen CO₂ (Quelle: IEA, 2008a)

Sektor	Gesamt	Kohle & Torf	Gas	Erdöl	Andere
1 CO2 Sectoral Approach	62,01	14,2	15,03	31,64	1,14
2 Main Activity Producer Electricity and Heat	9,47	4,63	3,41	1,1	0,32
3 Unallocated Autoproducers	3,69	1,76	1,16	0,62	0,16
4 Other Energy Industries	6,02	3,92	0,64	1,47	0
5 Manufacturing Industries and Construction	13,72	2,88	5,41	4,83	0,6
6 Transport	16,66	0	0,53	16,13	0
7 of which: Road	15,81	0	0	15,81	0
8 Other Sectors	12,46	1,01	3,88	7,5	0,06
9 of which: Residential	8,53	0,88	2,72	4,93	0
10 CO2 Reference Approach	62,38	14,24	15,04	31,96	1,14
11 Diff. due to Losses and/or Transformation	0,17	-0,11	0	0,28	0
12 Statistical Differences	0,2	0,15	0,01	0,04	0
13 Memo:International Marine Bunkers	0	0	0	0	0
14 Memo:International Aviation	1,63	0	0	1,63	0

⁴ Die mit diesem Ansatz berechneten Emissionen sind mit denen der UNFCCC Berechnungen vergleichbar.

Energiebilanzen der IEA

Die Energiebilanzen (EB) der Internationalen Energieagentur (IEA, 2008b, 2008c) enthalten physische Daten über die Nutzung der Energieträger in Kilotonnen Erdöläquivalenten (ktoe), aufgeteilt nach 68 Sektoren. Unter der Annahme, dass für alle Sektoren die gleichen CO₂-Emissionen pro eingesetzter Einheit des jeweiligen Energieträgers entstehen, können die Emissionen in Tabelle 2 auf die 68 Sektoren der Energiebilanz aufgeteilt werden (siehe Anhang 2) und dann über die Energieträger summiert werden um die Gesamtemissionen jedes Sektors der Energiebilanz zu erhalten.

Die sektorale Gliederung der im Anschluss beschriebenen Input-Output (IO) Tabellen entspricht nicht der Gliederung der Energiebilanzen. Die Emissionen bezogen auf die EB-Sektoren werden mit den Verhältnissen der monetären Daten der IO-Tabellen von Sektor 8 („Coke, refined petroleum products and nuclear fuel“) auf die Sektoren der IO-Tabellen aufgeteilt.

Input-Output Tabellen

Das Modell benutzt die letzte Edition (vierte Überarbeitung, 2009) der von der OECD publizierten IO-Tabellen welche 29 OECD-Länder (exkl. Island) und 11 nicht-OECD-Länder (Argentinien, Brasilien, China, Estland, Indien, Indonesien, Israel, Russland, Slowenien, Südafrika und Taiwan) umfassen und in 48 Sektoren untergliedert sind (Yamano and Ahmad, 2006). Für weitere 16 Länder bzw. Weltregionen wurden unter der Annahme, dass diese die gleiche Technologie anwenden wie benachbarte Länder oder Länder mit ähnlicher Wirtschaftsstruktur, IO-Tabellen abgeschätzt (siehe Tabelle 3). Insgesamt unterscheidet das GRAM Modell also 55 Länder und Weltregionen und 48 Wirtschaftssektoren.

Tabelle 3: Übernommene IO-Strukturen

Land	Beispielland
Rest der Welt	Argentinien
Island	Norwegen
Bulgarien	Slowakei
Zypern	Griechenland
Lettland	Polen
Litauen	Polen
Malta	Griechenland
Rumänien	Slowakei
Hongkong	Korea
Malaysia	Korea
Philippinen	Korea
Singapur	Korea
Thailand	Korea
Chile	Brasilien
OPEC	Indonesien

Die OECD IO-Tabellen sind für die meisten Länder für die Jahre 1995, 2000 und 2005 verfügbar (siehe OECD, 2009). Für einige Länder ist diese Verfügbarkeit jedoch auf nur ein oder zwei der drei Jahre eingeschränkt oder die Bezugsjahre weichen leicht ab (siehe auch Anhang 1).

Bei der Erstellung der IOT-Verflechtungsmatrizen für die nicht vorhandenen Jahre müssen zwei Fälle unterschieden werden. Zum einen der Fall, wenn Daten für die Randjahre (1995 und 2005) nicht vorhanden sind. In diesem Fall wird für die Jahre vor dem ersten/nach dem letzten verfügbaren Jahr, die Struktur des ersten/letzten verfügbaren Jahres übernommen. Ein Beispiel ist die Schweiz, für die es die OECD IOT nur für das Jahr 2001 gibt. Die Endnachfrage-Matrizen (FD) und die Gesamtproduktion der Sektoren werden mit dem Verhältnis des Bruttoinlandsproduktes ($GDPT$) laut Daten der International Financial Statistics des Internationalen Währungsfonds (International Monetary Fund, 2009) des aktuellen Jahres zum Bruttoinlandsprodukt des verfügbaren Jahres skaliert. Nachfolgend ist ein Beispiel für die Berechnung der FD -Matrix im Jahr t mit Basisjahr 2001, Sektor i und Endnachfragekategorie k , dargestellt:

$$FD^t[i][k] = FD^{2001}[i][k] * \frac{GDPT^t}{GDPT^{2001}}$$

Für die Jahre zwischen zwei verfügbaren Jahren (erstes Jahr t , nächstes verfügbares Jahr $t+s$), werden die Matrizen interpoliert. Dieses gilt sowohl für die Verflechtungsmatrizen, als auch für die Endnachfragematrizen, wobei sich die Spalten der Verflechtungsmatrizen nach wie vor auf 100% addieren. Es wird somit angenommen, dass sich die Verflechtungs- und Nachfragestrukturen zwischen zwei vorhandenen Jahren linear verändern. Das entspricht natürlich nicht gänzlich der Wirklichkeit, ist aber eine geeignete Annäherung. Die entsprechenden Berechnungen sind für die:

Verflechtungsmatrix A :
$$a_{ij}^{t+r} = \frac{(s-r)a_{ij}^t + ra_{ij}^{t+s}}{s}$$

und für die Endnachfragematrix Y :
$$y_{ik}^{t+r} = \frac{(s-r)\frac{GDPT^{t+r}}{GDPT^t}y_{ik}^t + r\frac{GDPT^{t+r}}{GDPT^{t+s}}y_{ik}^{t+s}}{s}.$$

Im Modell werden einige Länder (L) modelliert, für die die OECD, wie bereits erwähnt, keine IOTs bereitstellt (siehe Tabelle 3). Die Endnachfragematrizen ($FD[i][k]$) und die Gesamtproduktion ($PI[10][i]$) der Sektoren (i) werden mit Hilfe des GDP-Verhältnisses zum Beispielland (B) berechnet:

Endnachfragematrix:
$$FD_L[i][k] = FD_B[i][k] * \frac{GDPT_L}{GDPT_B}$$

Primary Inputs Matrix:
$$PI_L[10][i] = PI_B[10][i] * \frac{GDPT_L}{GDPT_B}.$$

Bilaterale Handelsdaten

Wie erwähnt stammen auch die Handelsdaten, die für MRIO Modelle von zentraler Bedeutung sind, von der OECD. Die bilateralen Handelsdaten (Bilateral Trade Data, BTD, siehe OECD, 2006) sind mit den IO-Tabellen der OECD harmonisiert und beinhalten Daten über Importe und Exporte für alle OECD-Länder aufgeschlüsselt nach 61 Handelspartnern und 25 Gütergruppen sowie einem aggregierten Service-Sektor. Die Gütergruppen entsprechen beinahe der sektoralen Disaggregation der IO-Tabellen. Zwei Ausnahmen bilden die Sektoren "Mining and quarrying (Energy)" und "Mining and quarrying (Non-Energy)", die in den Handelsmatrizen nicht unterschieden werden, sowie ein Sektorsektor der BTD, der alle 23 Dienstleistungssektoren der IO-Tabellen aggregiert.

Die bilateralen Handelsdaten sind für fast alle im Modell abgebildeten Länder direkt vorhanden (vgl. Anhang 1). Der aktuelle OECD-Handelsdatensatz erfasst zusätzlich zu den meisten Handelsbeziehungen der OECD-Mitglieder auch die Handelsströme zwischen den wichtigsten Partnerländern wie China, Indien, Brasilien, Russland, etc. Lediglich der Handel zwischen sechs kleinen osteuropäischen EU-Mitgliedsstaaten, sowie den beiden Regionen OPEC und dem Rest der Welt muss noch auf Basis internationaler Statistiken geschätzt werden. Die Bedeutung dieser Schätzgrößen für die Modell-Ergebnisse ist sehr gering.⁵

Die sektorale Aufteilung des Dienstleistungshandels wurde für einige Länder in den Anfangsjahren nicht von der OECD dokumentiert. Die Annahme im Modell ist, dass die Importstruktur der Anfangsjahre jener des ersten verfügbaren Jahres entspricht. Ein Beispiel ist Südafrika, für das die Daten erst ab 2000 vorliegen. Für die Jahre 1995 bis 1999 wird somit angenommen, dass die Importanteile der Länder denen aus dem Jahr 2000 entsprechen.

3.2.2 Mathematische Grundlagen

Voraussetzung für die Rückverfolgung internationaler Produktionsketten und Güterpfade ist die Anwendung eines echten multidirektionalen MRIO Modells auf Basis *einer* großen Matrix der Vorleistungsverflechtungen. Aus diesem Grund kommt die ursprünglich im GRAM Modell verwendete iterative Prozedur hier nicht zur Anwendung. Die grundlegende Gleichung jedes Input-Output-Modells mit der Matrix der Inputkoeffizienten A , dem Endnachfragevektor y , und dem Outputvektor x , ist:

$$\begin{aligned}Ax + y &= x \\y &= (I - A)x \\x &= (I - A)^{-1}y\end{aligned}$$

Ein entsprechendes multi-regionales Input-Output Modell mit C Regionen ist:

⁵ Wenn Bedarf für eine ausführliche Erklärung besteht, bitte an die GWS wenden.

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1C} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{C1} & x_{C2} & \cdots & x_{CC} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} & \cdots & -A_{1C} \\ -A_{21} & I - A_{22} & \cdots & -A_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A_{C1} & -A_{C2} & \cdots & I - A_{CC} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1C} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{C1} & y_{C2} & \cdots & y_{CC} \end{pmatrix},$$

wobei x_{ij} den sektoralen Output in Land i beschreibt, der zur Befriedigung des Endverbrauchs in Land j verwendet wird, A_{ij} sind die interregionalen Matrizen der Inputkoeffizienten, und y_{ij} ist der Endnachfragevektor von Land j auf Produkte des Landes i .

Ausgehend von den symmetrischen IO-Tabellen der OECD erhält man durch spaltenweise Division mit der Bruttoproduktion die Input-Koeffizienten-Matrix. Der 1. Quadrant dieser Matrix (Vorleistungen) bildet die Matrix A_{ij} . Die Matrizen auf der Hauptdiagonale entsprechen der Einheitsmatrix I abzüglich der Input-Koeffizientenmatrizen der Länder (A_{ij} für $j = i$).

Die Submatrizen A_{ij} für $j \neq i$ werden wie folgt berechnet: Mittels der bilateralen Handelsmatrizen kann der Anteil jedes exportierenden Landes an den Importen aller anderen Länder ermittelt werden. Diese Anteile werden sodann mit der Importmatrix der IO-Tabellen multipliziert. Dadurch erhalten wir $C-1$ Importmatrizen für jedes Land. Die Inputmatrizen A_{ij} werden dann durch die Division jedes Eintrages der Importmatrizen durch die entsprechende sektorale Bruttoproduktion berechnet. Auf die gleiche Art wird auch die Endnachfrage nach Importen auf die exportierenden Länder aufgeteilt.

Die Endnachfragematrix (Final Demand Matrix) in den IO-Tabellen besteht aus 48 Sektoren in den Zeilen und 10 Endnachfragekategorien in den Spalten (vgl. Tabelle 4). Um die Endnachfragevektoren y_{ij} , die die Endnachfrage auf die 48 Sektoren der IOT enthalten, zu berechnen, wurden Spalten 2 bis 7 (heimischer Verbrauch) für die Vektoren auf der Diagonalen (heimische Nachfrage auf heimische Produkte) aufaddiert. Für die Vektoren der heimischen Nachfrage auf Importe wurde zusätzlich Spalte 8 (Transitimporte) addiert.

Tabelle 4: Endnachfragekategorien (Quelle: OECD, 2009)

OECD IOT Endnachfragekategorien	
c1	Intermediärverbrauch
c2	Haushaltsendverbrauch
c3	Non-Profit Organisationen
c4	Öffentlicher Endverbrauch
c5	Bruttoanlageinvestitionen
c6	Bestandsveränderungen
c7	Wertsachen
c8	Exporte
c9	Importe
c10	Statistische Abweichungen

Während in A nur Koeffizienten enthalten sind, besteht die Endnachfrage y aus monetären Werten in Millionen USD. Die OECD IO-Tabellen sind allerdings in lokaler Währung ausgewiesen. Sie werden mit dem Wechselkurs des Internationalen Währungsfonds umgerechnet.

3.3 Anbindung von Emissionen

Es gibt grundsätzlich zwei Arten der Modellierung von CO₂-Emissionen in Input-Output-Modellen. Die erste Methode, entwickelt von Leontief (1970) und weiterverfolgt von Lenzen und anderen (siehe z.B. Lenzen et al., 2004), besteht aus der Hinzufügung eines Sektors zur Leontief-Matrix (in einer symmetrischen IO-Tabelle besteht dieser immer aus einer Zeile und einer Spalte), wobei in der zusätzlichen Zeile die CO₂-Emissionen jedes Sektors erfasst werden. Die andere Methode, verwendet z.B. in den Studien von Peters und Hertwich (2004) und Wiedmann et al. (2006), basiert auf der Multiplikation der Leontief-Inverse mit einer Emissionsintensitäts-Matrix. In dieser Studie wurde letzterer Ansatz verwendet, weshalb im Folgenden die Verwendung einer Emissionsintensitäts-Matrix beschrieben wird.

3.3.1 Emissionsintensitäts-Matrix

Für ein einfaches IO-Modell für ein Land werden die Emissionen, die bei der Produktion eines Outputs x anfallen, als

$$P = Ex = E(I - A)^{-1}y$$

bezeichnet. E ist eine $K \times N$ Matrix mit Emissionsintensitäten, die K Schadstoffe und N Sektoren unterscheidet. Dieses Konzept lässt sich leicht auf zwei und mehr Länder übertragen (Turner et al., 2007). Für MRIO Modelle:

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1c} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2c} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{c1} & p_{c2} & \cdots & p_{cc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & E_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & E_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} & \cdots & -A_{1c} \\ -A_{21} & I - A_{22} & \cdots & -A_{2c} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A_{c1} & -A_{c2} & \cdots & I - A_{cc} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1c} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2c} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{c1} & y_{c2} & \cdots & y_{cc} \end{pmatrix}$$

gibt es eine E -Matrix pro Land, E_c . Die Intensitäten in E sind so genannte direkte Intensitäten, die produktionsbasiert sind, d.h. Emissionen pro Produktionseinheit. Die Matrix eines MRIO Modells setzt sich aus den E_c^{sk} , Land c , Sektor s und Schadstoff k , zusammen:

$$E = \begin{pmatrix} E_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & E_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & E_c \end{pmatrix} \text{ mit Matrizen } E_c = \begin{bmatrix} E_c^{11} & E_c^{21} & \cdots & \cdots & E_c^{N1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ E_c^{1k} & E_c^{2k} & \cdots & \cdots & E_c^{Nk} \end{bmatrix} \text{ auf der Diagonalen.}$$

In diesem Fall betrachten wir nur einen Schadstoff (CO₂). Daher reduzieren sich die E_c Matrizen zu Zeilenvektoren. Dies wiederum impliziert, dass die Einträge der P -Matrix, p_{ij} , einfache Aggregatgrößen (Skalare) sind. p_{ij} enthält also die Summe aller Emissionen die in Land j aufgrund der Nachfrage in Land i entstehen. Eine alternative Formulierung des Modells, in dem

Fall, in dem nur ein Schadstoff berücksichtigt wird, sind diagonale E_c -Matrizen. Berechnet man das System in dieser Form, so sind p_{ij} Vektoren von Größe N (Anzahl der Sektoren). Die Matrix P hat dann die Größe $(N \times C) \times C$, wobei C die Anzahl der Länder ist. p_{ij}^s ist dann ein Skalar, in dem die Emissionen abgespeichert sind, die in Sektor s in Land j entstanden sind, um die Endnachfrage in Land i zu bedienen. Diese zweite Art der Formulierung, mit diagonalen E_c -Matrizen, wird in unserem Modell implementiert.

Die in den Importen eines Landes j enthaltenen Emissionen sind $P_j^{import} = \sum_{i \neq j} p_{ij}$. Die in den Exporten eines Landes i enthaltenen Emissionen sind $P_i^{Export} = \sum_{j \neq i} p_{ij}$. p_{ii} enthält die Emissionen die bei der Produktion von Gütern in Land i entstehen, die auch in Land i konsumiert werden.

3.4 Berechnung sektoraler CO₂-Emissionen

Die am häufigsten verwendete Vorgehensweise zur Berechnung der THG-Emissionen ist die von den IPCC⁶ Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) beschriebene Methode. Das IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC-NGGIP) wurde im Jahr 1991 in enger Zusammenarbeit der OECD und mit der Internationalen Energieagentur (IEA) gegründet und verfolgt die beiden Ziele eine international vereinbarte Methodik zur Berechnung und Erfassung nationaler THG-Emissionen zu entwickeln, und den großflächigen Einsatz dieser Methodik in Ländern, die am IPCC teilnehmen und die UNFCCC⁷ unterzeichnet haben, zu fördern.

Laut IPCC (2006) entstehen die THG Emissionen aus vier Arten menschlicher Handlungen: (1) aus Energieverbrauch, (2) durch industrielle Prozesse, (3) durch landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Tätigkeiten sowie andere Landnutzung und (4) aus Müllentstehung, -lagerung und -verarbeitung.

Im Energiesektor entstehen THG-Emissionen entweder durch die Verbrennung von Energieträgern oder durch diffuse Emissionen. Bei industriellen Prozessen (andere Prozesse als die Treibstoffverbrennung) entstehen Treibhausgase durch chemische oder physische Materialumwandlungen, durch die Verwendung von Treibhausgasen in Produkten wie z.B. Kühlschränken, Schaum- und Sprühdosen, und durch die nicht-energetische Verwendung fossiler Brennstoffe wie z.B. Rohstoffe, Reduktionsmittel oder nicht-energetische Produkte. Um vollständige Informationen über Treibhausgasemissionen zu erhalten, sollten alle vier Arten menschlicher Handlungen berücksichtigt werden. Jede Aktivität wird beschrieben und bewertet, indem unterschiedliche Datengrundlagen verwendet werden. Die Energieindustrie wird mithilfe des gesamten Energieverbrauchs beschrieben, während der industrielle Prozess mittels des gesamten Outputs an kohlenstoffhaltigen Produkten, Abfällen und Emissionen dargestellt wird. Man braucht

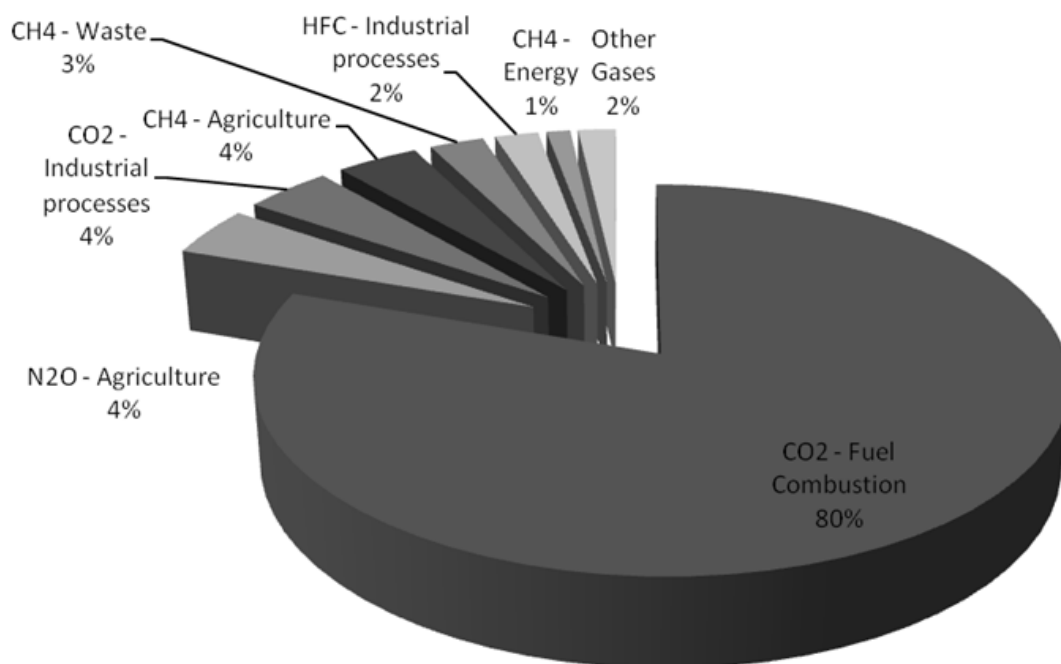
⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen bzw. Weltklimarat)

⁷ United Nations Framework Convention on Climate Change (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen)

zahlreiche unterschiedliche Daten, um landwirtschaftliche Aktivitäten und sonstige Landnutzung zu quantifizieren: Daten über Abholzungsraten, landwirtschaftliche Produktionsstatistiken, umfangreiche Landkarten, Daten zur Düngemittelverwendung und zu Tierbeständen etc. Darüber hinaus werden für die Schätzungen der THG-Emissionen, die durch Müll verursacht werden, verschiedene Daten über die Müllentstehung und -verarbeitung benötigt.

Das Beschaffen der Daten für die verschiedenen genannten Aktivitäten, differenziert nach Ländern, kann sehr kosten- und zeitaufwendig sein. Abbildung 1 stellt das Ausmaß der Treibhausgasemissionen differenziert nach Aktivitäten dar. Da mehr als 80% aller Treibhausgasemissionen durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe entstehen, kann eine Schätzung, die ausschließlich auf Brennstoffeinsatz basiert, als eine geeignete Annäherung an die gesamten Emissionen herangezogen werden. Die Energiebilanzen der IEA (2008b; 2008c) sind für viele Länder vorhanden und stellen daher eine umfangreiche Datengrundlage dar. Im Folgenden werden wir uns auf die Berechnungen der CO₂-Emissionen aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe beschränken.

Abbildung 1. Struktur der THG Emissionen in Österreich (in CO₂-Äquivalenten, 2005, Quelle: IEA, 2008c)



3.4.1 Sektorenansatz („Sectoral Approach“)

IPCC (2006) schlägt zwei Ansätze zur Berechnung von THG-Emissionen vor, der Referenzansatz („Reference Approach“) und der Sektorenansatz („Sectoral Approach“). Der Nachteil des Referenzansatzes besteht darin, dass er nicht die detaillierten Informationen der Energiebilanzen über die sektorspezifischen Brennstoffverbräuche nutzt. Daher ist es nicht möglich die Struktur der CO₂-Emissionen zu analysieren. Dieser Nachteil wurde in dem von der IPCC 2006 vorgeschlagenen Sektorenansatz beseitigt, weshalb in diesem Projekt der

Sektorenansatz zur Berechnung der CO₂-Emissionen zum Einsatz kam. Im Gegensatz zum Referenzansatz ist der Sektorenansatz eine Bottom-up-Methode und verwendet Daten über den Brennstoffverbrauch verschiedener Sektoren der Wirtschaft. Die Berechnungen können in drei verschiedenen Detaillierungsgraden erfolgen, von Stufe 1, der einfachsten und allgemeinsten Methode, bis Stufe 3, der detailliertesten Methode.

Auf Stufe eins wird eine brennstoffbasierte Methode verwendet, die den Brennstoffeinsatz in jedem Sektor als Berechnungsbasis nutzt. Es sind verschiedene standardisierte Umrechnungsfaktoren für 53 Brennstoffe, drei Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O) und fünf Sektoren, die mit den Energiebilanzsektoren und Brennstoffarten vergleichbar sind, verfügbar. Die Umrechnungsfaktoren für die CO₂-Emissionen sind für alle Sektoren dieselben, weil die Summe aller CO₂-Emissionen vor allem von dem Kohlenstoffgehalt des Energieträgers, und weniger von der konkreten Technologie abhängt. Andererseits variieren die Umrechnungsfaktoren für andere Abgase in den verschiedenen Sektoren aufgrund verschiedener Verbrennungstechnologien und Einsatzbereiche, so dass verschiedene Umrechnungsfaktoren notwendig sind. Diese Unterschiede können zu relativ großen Unsicherheiten führen, wenn für CH₄ (Methan) und N₂O (Lachgas) durchschnittliche Emissionsfaktoren verwendet werden.

Diese Unsicherheiten können auf der Stufe zwei reduziert werden, indem anstatt der Standardfaktoren von Stufe eins, die für alle Länder gleich sind, länderspezifische Emissionsfaktoren verwendet werden. Die länderspezifischen Daten verfügen normalerweise über eine höhere Disaggregation und können somit die Qualität der Abschätzung anderer THG-Emissionen (Methan und Lachgas) verbessern.

Auf Stufe drei "werden entweder detaillierte Emissionsmodelle oder individuelle Anlagenmessungen und -daten verwendet" (eigene Übersetzung, Original in IPCC, 2006, Volume 2: Energy, P. 1.8). Die Verwendung der Methode auf Stufe drei kann die Qualität der Methan- und Lachgas-Emissionsdaten, insbesondere im Bereich des Straßenverkehrs, nochmals weiter verbessern. Für die allgemeinen CO₂-Emissionen ist jedoch die Methode der Stufe eins ausreichend (vgl. IPCC, 2006).

3.4.2 Berechnungen im Modell

Die Gesamtemissionen werden nicht im Modell berechnet. Wir nutzen die Emissionsdaten des Sektorenansatzes der IEA (siehe auch Kapitel 3.2.1). Die Emissionsdaten sind dort für verschiedene Energieträger (Kohle & Torf, Gas, Erdöl und Andere) vorhanden. Des Weiteren erfolgt dort eine grobe sektorale Trennung (vgl. Tabelle 2). Auch die Energiebilanzen der IEA sind getrennt nach Energieträgern erhältlich. Für die Aufteilung der Emissionsdaten auf die Sektoren der Energiebilanzen nehmen wir an, dass die Emissionsfaktoren in allen Sektoren gleich sind. Die Energiebilanzen (EB) zeigen die genutzten Energieträger getrennt nach 51 Sektoren (68 Zeilen). Anhang 2 zeigt die Überleitung der Sektoren der Emissionsdaten zu den Sektoren der Energiebilanz. Die Aufteilung der Emissionen erfolgt getrennt nach Energieträgern. So wird z.B. für jeden Energieträger (ET), Sektor 5 der Emissionsdaten auf Sektoren 27 bis 39 (*i*) der Energiebilanz aufgeteilt:

$$\text{Emissionen}EB_i^{ET} = \text{Emissionen}_5^{ET} \frac{EB_i^{ET}}{\sum_{j=27}^{39} EB_j^{ET}}$$

Nachdem die Emissionen nach Energieträgern getrennt für die Energiebilanz-Sektoren vorliegen, werden sie aufsummiert, so dass es für jeden EB-Sektor eine Emissionszahl gibt. Anhang 3 zeigt die im Anschluss an die obigen Berechnungen genutzte Überleitung von Energiesektoren auf Input-Output-Sektoren (IOT). Wenn ein Sektor der EB auf mehrere Sektoren der IOT aufgeteilt werden muss, erfolgt diese Aufteilung auf Basis der monetären IOT Struktur des Energie-liefernden Sektors 8 (Coke, refined petroleum products and nuclear fuel). Zumeist werden allerdings mehrere EB Sektoren zu einem IOT Sektor zusammengefasst.

Diese Berechnungen ergeben Emissionsvektoren ($co2iot$) für jedes Land mit 48 Einträgen entsprechend den IOT Sektoren. Die Emissionsintensitäten ($e[i]$) in jedem Sektor sind das Verhältnis der Emissionen zur Gesamtproduktion des Sektors ($PI[10][i]$):

$$e[i] = \frac{co2iot[i]}{PI[10][i]}$$

Der Anschluss an das MRIO System erfolgt dann durch eine Umwandlung der Emissionsintensitätsvektoren (e) in diagonale Matrizen (E) für jedes Land:

$$E_c = \begin{pmatrix} e_c[1] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e_c[2] & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e_c[48] \end{pmatrix}$$

Da die E -Matrizen diagonale Matrizen sind, ist die Verschmutzung, die in Land i aufgrund der Nachfrage aus Land j , sektoral aufgegliedert, d.h. die p_{ij} sind jeweils 48er Vektoren. In der Literatur ist E_c zumeist ein Zeilenvektor, so dass p_{ij} die Summe der Emissionen über alle 48 Sektoren in Land i ist.

3.5 Strukturelle Pfadanalyse

Mit der strukturellen Pfadanalyse (SPA) ist es in Input-Output-Modellen möglich die Produktionspfade von Produkten nachzuvollziehen und damit eine Komponentenzerlegung vorzunehmen. Die Nutzung der SPA in diesem Kontext geht auf Defourny und Thorbecke (1984) zurück. Viele Autoren nutzen die SPA um die Herstellungspfade zu finden, auf denen die größten CO₂-Emissionen liegen (siehe z.B. Lenzen et al., 2007; Minx et al., 2008; Peters and Hertwich, 2006c; Sonis and Hewings, 1998; Wood, 2008; Wood and Lenzen, in press).

Unsere Berechnungen basieren auf dem Algorithmus von Peters und Hertwich (2006c). Dafür ist es wichtig den Unterschied zwischen direkten und indirekten Emissionen auf einer Verarbeitungsstufe zu verstehen. Direkte Emissionen sind die Emissionen, die auf der aktuellen Verarbeitungsstufe anfallen, während indirekte Emissionen in allen vorherigen Verarbeitungsstufen

bereits angefallen sind. Die direkten Emissionen können teilweise in den indirekten Emissionen enthalten sein und umgekehrt, da bei der Herstellung sowohl Hilfsprodukte als auch Bestandteilprodukte verwendet werden.

Die SPA wird mit Hilfe eines Suchbaums durchgeführt. Es gibt verschiedene Algorithmen zur Erstellung eines solchen Suchbaums (Lenzen, 2003). Wie auch Peters und Hertwich (2006c) benutzen wir eine Kombination zweier verschiedener Methoden zur Beschneidung des Suchbaums: zum einen eine maximale Baumtiefe, und zum anderen einen Schwellenwert (in der Literatur als cut-off oder threshold value bezeichnet) betreffend den indirekten Effekt eines Knoten.

Jede Ebene des Suchbaums entspricht einer Verarbeitungsstufe, wobei der Baum so aufgebaut ist, dass man von der letzten Verarbeitungsstufe rückwärts sucht und nicht mit der ersten Verarbeitungsstufe anfängt. Jeder Knoten des Baums entspricht einem Vorprodukt für das Produkt im darüber liegenden Knoten. Die direkten Emissionen eines Knoten entsprechen also den Emissionen, die für das Produkt auf der Verarbeitungsstufe anfallen. Die indirekten Emissionen sind die Emissionen, die in allen Vorprodukten enthalten sind. Wenn diese indirekten Emissionen eines Knoten (Produktes) nun kleiner sind als der (vom Analysten gesetzte) Schwellenwert (in unserem Fall 0.001% der in Österreich konsumierten Emissionen), werden die Emissionen aller „Kinder-Knoten“ unterhalb des entsprechenden Knoten nicht weiter berücksichtigt. Des Weiteren suchen wir nur in den obersten neun Ebenen des Suchbaums.

Die direkten Emissionen werden auf der letzten Verarbeitungsstufe (dem obersten Level im Suchbaum: Stufe 0) als ey berechnet, wobei der Vektor e der diagonalen Matrix E in so fern entspricht, als dass er alle diagonalen Elemente von E enthält. Auf Stufe 1 (erster Level im Suchbaum) sind die direkten Emissionen eAy , auf Stufe 2 eA^2y , und auf Stufe 3 eA^3y , etc. Die direkten Emissionen werden abgespeichert, wenn sie auf Stufe 0 größer als null und auf allen anderen Stufen größer als ein Hundertstel des Schwellenwerts, d.h. 0.00001% der in Österreich konsumierten Emissionen, sind. Bei Anwendung dieses Schwellenwerts werden je nach Jahr zwischen 68% und 74% der Gesamtemissionen durch die SPA erfasst. Durch ein Heruntersetzen der Werte könnten mehr Emissionen abgebildet werden, jedoch steigt die benötigte Rechenleistung stark an während die zusätzliche Erkenntnismöglichkeit eher gering ist.

Die indirekten Emissionen werden mit Hilfe der Leontief-Inversen ermittelt. Dafür wird der Vektor e_{tot} berechnet: $e_{tot} = e(I - A)^{-1}$. Die indirekten Emissionen auf Stufe 0 sind dann $e_{tot}y$, auf Stufe 1 $e_{tot}Ay$, auf Stufe 2 $e_{tot}A^2y$, etc.. Die gesamten indirekten Emissionen auf Stufe 0 müssen der Summe aller im Inland (in diesem Fall Österreich) konsumierten Emissionen entsprechen. Die indirekten Emissionen werden nicht dazu benutzt Pfade zu berechnen, sie dienen lediglich dazu Zweige des Suchbaums abzuschneiden.

Die direkten Emissionen an jedem Knoten werden wie folgt berechnet:

- auf Stufe 0: $e[sector] * y[sector]$
- auf Stufe 1: $e[i] * A[i][sector] * y[sector]$
- auf Stufe 2: $e[j] * A[j][i] * A[i][sector] * y[sector]$

- auf Stufe 3: $e[k] * A[k][j] * A[j][i] * A[i][sector] * y[sector]$
- etc.

wobei $e[sector]$ die CO₂-Intensität des jeweiligen Sektors enthält, y ist der Endnachfragevektor und A repräsentiert die multi-regionale IO-Matrix mit ihren Koeffizienten.

Die indirekten Emissionen an den Knoten sind:

- auf Stufe 0: $e_{tot}[sector] * y[sector]$
- auf Stufe 1: $e_{tot}[i] * A[i][sector] * y[sector]$
- auf Stufe 2: $e_{tot}[j] * A[j][i] * A[i][sector] * y[sector]$
- auf Stufe 3: $e_{tot}[k] * A[k][j] * A[j][i] * A[i][sector] * y[sector]$
- etc.

wobei $e_{tot} = e * (I - A)^{-1}$.

Die Pfade werden aus den direkten Emissionen der Knoten berechnet. Dafür werden die Emissionen der Pfade der Elternknoten mit Hilfe der Matrix A auf die die Pfade der Kinderknoten aufgeteilt. Die Emissionen die auf einem Pfad liegen sind:

- auf Stufe 0: $PFAD[sector] = e[sector] * y[sector]$
- auf Stufe 1: $PFAD[i] = e[i] * A[i][sector] * y[sector] + A[i][sector] * PFAD[sector]$
- auf Stufe 2: $PFAD[j] = e[j] * A[j][i] * A[i][sector] * y[sector] + A[j][i] * PFAD[i]$
- auf Stufe 3: $PFAD[k] = e[k] * A[k][j] * A[j][i] * A[i][sector] * y[sector] + A[k][j] * PFAD[j]$
- etc.

4 Ergebnisse

4.1 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 Leakage⁸ 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 Annex-B-Länder rund 2,1 Milliarden Tonnen, was 9,6% der globalen

⁸ 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.

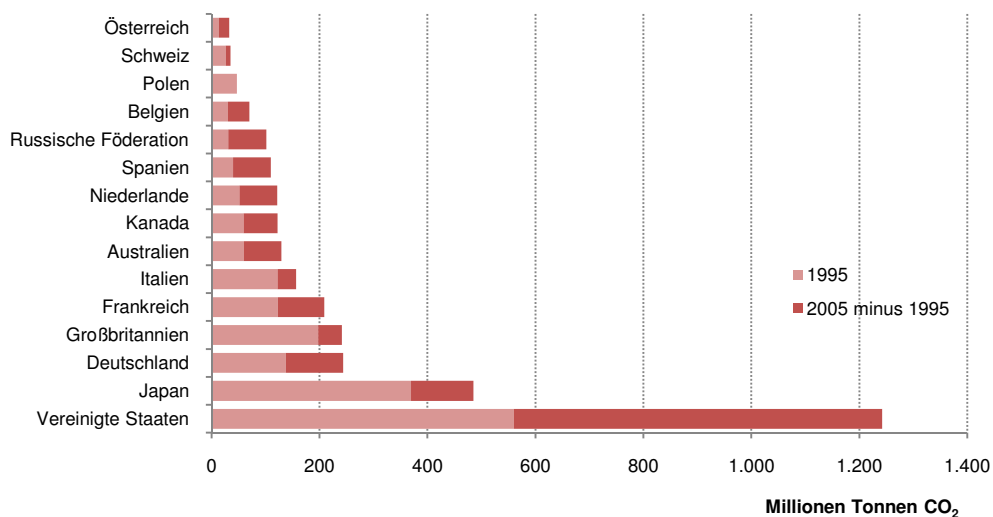
energiebedingten CO₂-Emissionen entspricht. Bis zum Jahr 2005 hat sich diese Menge auf 3,6 Milliarden Tonnen CO₂ (12,8% der globalen CO₂-Emissionen) erhöht. Das bedeutet, dass rund ein Viertel des Emissionszuwachses, der seit 1995 in nicht-Annex-B-Ländern stattgefunden hat, auf das Konto des Konsums von Annex-B-Ländern geht (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: 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 2 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 Staaten. 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 2. Carbon Leakage ausgewählter Länder, 1995-2005



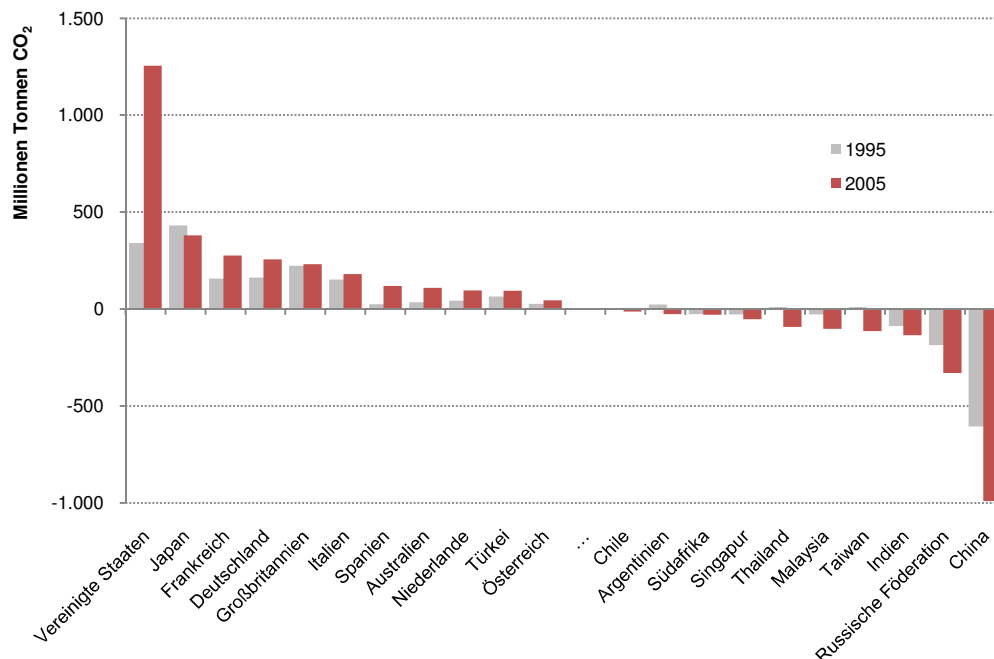
4.2 CO₂-Handelsbilanz

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 3). 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.

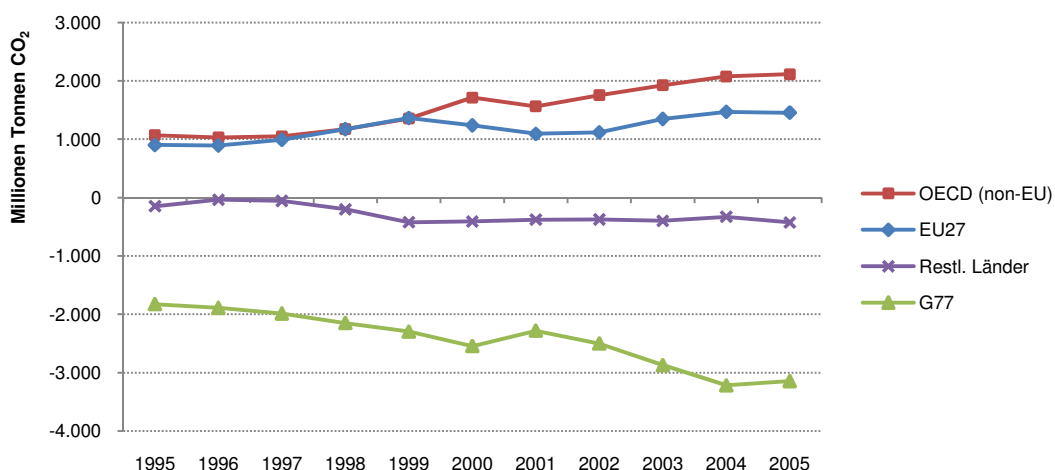
Am anderen Ende des Spektrums liegt China mit 990 Mio. Tonnen CO₂ in 2005 an erster Stelle der Netto-Exporteure, nach einem Anstieg um 63% zwischen den Jahren 1995 und 2005. Die Exporte von CO₂-Rucksäcken der Russischen Föderation überstiegen deren Importe im Jahr 2005 um 330 Mio. Tonnen, was ihr Platz 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 3. 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 4 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.

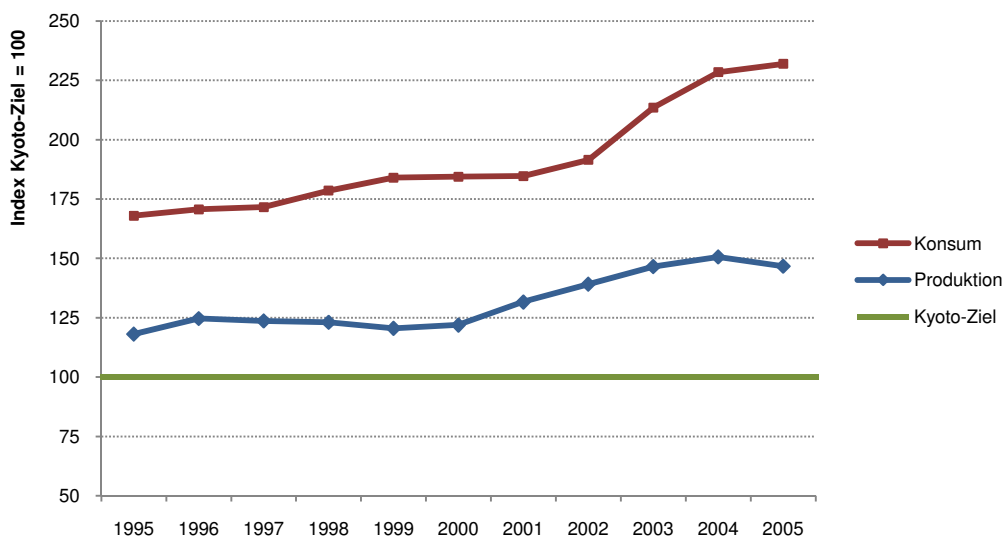
Abbildung 4. CO₂-Handelsbilanzen nach Ländergruppen, 1995 bis 2005



4.3 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 5). 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 5. Entwicklung von CO₂-Produktion und -Konsum gegenüber dem Kyoto-Ziel Österreichs, 1995 bis 2005



Die Werte für weitere Länder können dem Anhang 4 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.

4.3.1 Pro-Kopf-Werte

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, 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.

4.3.2 Ergebnisse nach Produktgruppen und Sektoren

Die Detailergebnisse für Österreich zeigen produktions- und konsumbedingte Emissionen gegliedert nach deren Ursprungssektoren. In Tabelle 6 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 6: 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 7 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 7: 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.

4.4 CO₂-Handelspartner Österreichs

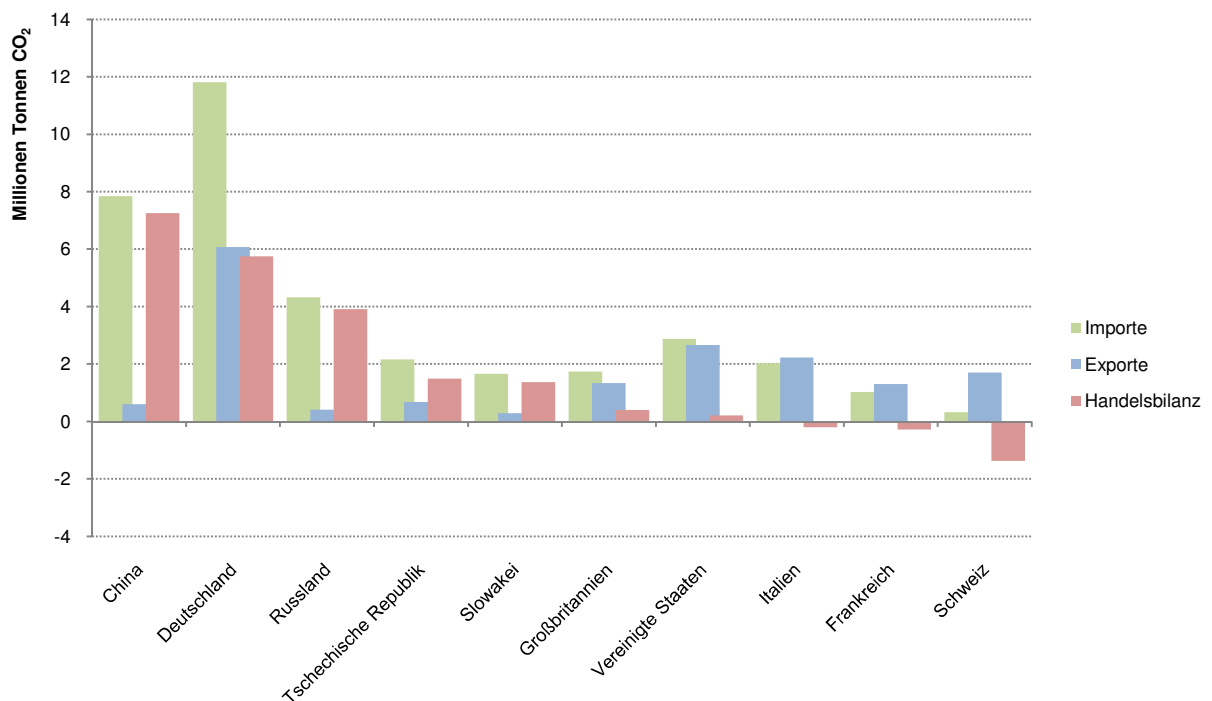
Unter den wichtigsten CO₂-Handelspartnern Österreichs befinden sich sowohl unter den Import- als auch unter den Export-Partnern überwiegend Nachbarländer wie Deutschland, die Tschechische Republik, Italien, die Slowakei, die Schweiz und Ungarn. Das ist aufgrund der besonders tiefen Handelsbeziehungen 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 8).

Tabelle 8: 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

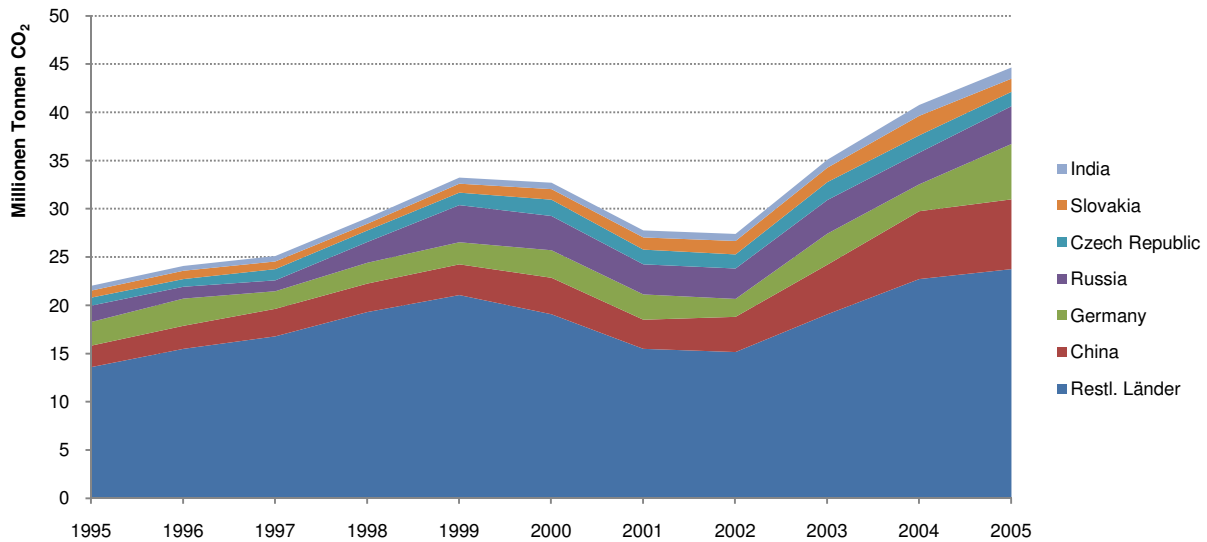
Abbildung 6 zeigt den Umfang Österreichs Handelsbeziehungen mit den wichtigsten Handelspartnern sortiert nach der Höhe der Handelsbilanz. Österreich weist sehr hohe CO₂-Importe aus China auf, denen nur geringe CO₂-Exporte gegenüberstehen. Das führt dazu, dass China in 2005 mit gut 7 Mio. Tonnen der größte 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 6. 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 7), 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 7. Österreichs CO₂-Außenhandelsbilanz nach Handelspartnern, 1995 bis 2005



4.5 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 9 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 6 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 6 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 9 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 9: 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 10 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 10: 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 11 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 angekommen 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 11: 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 ⁹
7	1	753	0,62%	RW, Wassertransport ⁹ → 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 ⁹
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
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

⁹ 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.

5 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.

5.1 Form des Datensatzes

Der Datensatz wird im MS Excel Format (xls) bereitgestellt. Die sektorale Gliederung entspricht jener der IO-Tabellen der OECD (siehe Anhang 6). 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.

5.2 Anwendungsmöglichkeiten

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.

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: Theoretical 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.

Anhang

Anhang 1. Datenverfügbarkeit nach Ländern

no		Bezeichnung OECD	Startjahr BTD	Trade in services (OECD)	IO (OECD 2009)	IEA/Energy	IMF
1	at	Austria	1995	x	1995/2000/2004	x	x
2	be	Belgium	1988	x	1995/2000/2004	x	x
3	lu	Luxembourg	1999	x	1995/2000/2005	x	x
4	dk	Denmark	1988	x	1995/2000/2004	x	x
5	fi	Finland	1988	x	1995/2000/2005	x	x
6	fr	France	1988	x	1995/2000/2005	x	x
7	de	Germany	1988	x	1995/2000/2005	x	x
8	gr	Greece	1988	x	1995/1999/2005	x	x
9	ie	Ireland	1988	x	1998/2000	x	x
10	it	Italy	1988	x	1995/2000/2004	x	x
11	nl	Netherlands	1988	x	1995/2000/2005	x	x
12	pt	Portugal	1988	x	1995/2000/2005	x	x
13	es	Spain	1988	x	1995/2000/2004	x	x
14	se	Sweden	1988	x	1995/2000/2005	x	x
15	gb	United Kingdom	1988	x	1995/2000/2003	x	x
16	cz	Czech Republic	1993	x	2000/2005	x	x
17	hu	Hungary	1992	x	1998/2000/2005	x	x
18	pl	Poland	1992	x	1995/2000/2004	x	x
19	sk	Slovak Republic	1997	x	1995/2000	x	x
20	tr	Turkey	1989	x	1996//2002	x	x
21	is	Iceland	1988			x	x
22	no	Norway	1988	x	1995/2000	x	x
23	ch	Switzerland	1988		2001	x	x
24	ca	Canada	1988	x	1995/2000	x	x
25	mx	Mexico	1990	x	2003	x	x
26	us	United States	1990	x	1995/2000/2005	x	x
27	jp	Japan	1988	x	1995/2000/2005	x	x
28	kr	Korea	1994	x	2000	x	x
29	au	Australia	1988	x	1998/99/2004/05	x	x
30	nz	New Zealand	1989	x	1995/96/2002/03	x	x
31	bg	Bulgaria				x	x
32	cy	Cyprus				x	x
33	ee	Estonia	1995		1997/2000//2005	x	x
34	lv	Latvia				x	x
35	lt	Lithuania				x	x
36	mt	Malta				x	x
37	si	Slovenia	1994		2000/2005	x	x
38	ro	Romania				x	x
39	cn	China	1992		1995/2000/2005	x	x
40	hk	Hong Kong, China	1992	x		x	x
41	id	Indonesia	1989		1995/2000/2005	x	x
42	in	India	1988		1993/94/1998/99	x	x
43	my	Malaysia	1989			x	x
44	ph	Philippines	1996			x	x
45	sg	Singapore	1989			x	x
46	th	Thailand	1988			x	x
47	tw	Chinese Taipei	1990		1996/2001	x	NSO
48	ar	Argentina	1993		1997	x	x
49	br	Brazil	1989		1995/2000/2005	x	x
50	cl	Chile	1990			x	x
51	za	South Africa	2000		1993/2000	x	x
52	il	Israel	1995		1995	x	x
53	ru	Russian (Federation)	1996	x	1995/2000	x	x
54	op	OPEC excl. Indonesia				x	x
55	rw	Rest of the world				x	
56	ww	Total World				x	

Anhang 2. Zuweisung der CO₂-Emissionen zu den Sektoren der Energiebilanzen

Energy Balance		CO2 Emissions	
Row	Sector name	Row	Sector name
1	Production		
2	Imports		
3	Exports		
4	International marine bunkers		
5	Stock changes		
6	Total primary energy supply		
7	Transfers		
8	Statistical differences		
9	Main activity producer electricity plants	2	Main Activity Producer Electricity and Heat
10	Autoproducer electricity plants	3	Unallocated Autoproducers
11	Main activity producer CHP plants	2	Main Activity Producer Electricity and Heat
12	Autoproducer CHP plants	3	Unallocated Autoproducers
13	Main activity producer heat plants	2	Main Activity Producer Electricity and Heat
14	Autoproducer heat plants	3	Unallocated Autoproducers
15	Heat pumps	2	Main Activity Producer Electricity and Heat
16	Electric boilers	2	Main Activity Producer Electricity and Heat
17	Chemical heat for electricity production	2	Main Activity Producer Electricity and Heat
18	Gas works	4	Other Energy Industries
19	Petroleum refineries	4	Other Energy Industries
20	Coal transformation	4	Other Energy Industries
21	Liquefaction plants	4	Other Energy Industries
22	Non-specified (transformation)	4	Other Energy Industries
23	Own use		
24	Distribution losses		
25	Total final consumption		
26	Industry sector		
27	Iron and steel	5	Manufacturing Industries and Construction
28	Chemical and petrochemical	5	Manufacturing Industries and Construction
29	Non-ferrous metals	5	Manufacturing Industries and Construction
30	Non-metallic minerals	5	Manufacturing Industries and Construction
31	Transport equipment	5	Manufacturing Industries and Construction
32	Machinery	5	Manufacturing Industries and Construction
33	Mining and quarrying	5	Manufacturing Industries and Construction
34	Food and tobacco	5	Manufacturing Industries and Construction
35	Paper, pulp and printing	5	Manufacturing Industries and Construction
36	Wood and wood products	5	Manufacturing Industries and Construction
37	Construction	5	Manufacturing Industries and Construction
38	Textile and leather	5	Manufacturing Industries and Construction
39	Non-specified (industry)	5	Manufacturing Industries and Construction
40	Transport sector		
41	International aviation	14	Memo:International Aviation
42	Domestic aviation	6 minus 7	Transport minus Road
43	Road	7	Road
44	Rail	6 minus 7	Transport minus Road
45	Pipeline transport	6 minus 7	Transport minus Road
46	Domestic navigation	6 minus 7	Transport minus Road
47	Non-specified (transport)	6 minus 7	Transport minus Road
48	Other sectors		
49	Residential	9	Residential
50	Commercial and public services	8 minus 9	Other Sectors minus Residential
51	Agriculture/forestry	8 minus 9	Other Sectors minus Residential
52	Fishing	8 minus 9	Other Sectors minus Residential
53	Non-specified (other)		
54	Non-energy use		
55	Non-energy use in industry/transformation		
56	Memo: feedstock use in petrochemical i		
57	Non-energy use in transport		
58	Non-energy use in other sectors		
59	Electricity output in GWh		
60	Elec output-main activity producer ele plant		
61	Elec output-autoproducer electricity plants		
62	Elec output-main activity producer CHP plant		
63	Elec output-autoproducer CHP plants		
64	Heat output in TJ		
65	Heat output-main activity producer CHP plant		
66	Heat output-autoproducer CHP plants		
67	Heat output-main activity producer heat plant		
68	Heat output-autoproducer heat plants		

Anhang 3. Sektoren-Konversion zwischen Energiebilanzen und Input-Output-Tabellen.

EB row nr	EB sectors	IO-Tables row nr	Sectors of input-output tables
1	Production		
2	Imports		
3	Exports		
4	International marine bunkers		
5	Stock changes		
6	Total primary energy supply		
7	Transfers		
8	Statistical differences		
9	Transformation sector		
10	Main activity producer electricity plants	26	Production, collection and distribution of electricity
11	Autoproducer electricity plants		Allocated among industry sectors of EB
12	Main activity producer CHP plants	26	Production, collection and distribution of electricity
		28	Steam and hot water supply
13	Autoproducer CHP plants		Allocated among industry sectors of EB
14	Main activity producer heat plants	28	Steam and hot water supply
15	Autoproducer heat plants		Allocated among industry sectors of EB
16	Heat pumps	28	Steam and hot water supply
17	Electric boilers		
18	Chemical heat for electricity production		
19	Blast furnaces	8	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel
20	Gas works	27	Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains
21	Coke ovens	8	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel
22	Patent fuel plants		
23	BKB plants		
24	Petroleum refineries		
25	Petrochemical industry		
26	Coal liquefaction plants		
27	Gas-to-liquids (GTL) plants	27	Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains
28	For blended natural gas		
29	Charcoal production plants	2	Mining and quarrying (energy)
30	Non-specified (transformation)		
31	Energy sector		
32	Coal mines	2	Mining and quarrying (energy)
33	Oil and gas extraction		
34	Blast furnaces	8	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel
35	Gas works	27	Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains
36	Gasification plants for biogas		
37	Coke ovens	8	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel
38	Patent fuel plants		
39	BKB plants		
40	Petroleum refineries		
41	Coal liquefaction plants		

42	Liquefaction (LNG) / regasification plants	27	Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains
43	Gas-to-liquids (GTL) plants		
44	Own use in electricity, CHP and heat plants	26	Production, collection and distribution of electricity
		28	Steam and hot water supply
45	Used for pumped storage	26	Production, collection and distribution of electricity
46	Nuclear industry	8	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel
47	Charcoal production plants	2	Mining and quarrying (energy)
48	Non-specified (energy)		
49	Distribution losses		
50	Total final consumption		
51	Industry sector		
52	Iron and steel	13	Iron & steel
53	Chemical and petrochemical	9	Chemicals excluding pharmaceuticals
		10	Pharmaceuticals
54	Non-ferrous metals	14	Non-ferrous metals
55	Non-metallic minerals	12	Other non-metallic mineral products
56	Transport equipment	21	Motor vehicles, trailers & semi-trailers
		22	Building & repairing of ships & boats
		23	Aircraft & spacecraft
		24	Railroad equipment & transport equip nec.
57	Machinery	15	Fabricated metal products, except machinery & equipment
		16	Machinery & equipment, nec
		17	Office, accounting & computing machinery
		18	Electrical machinery & apparatus, nec
		19	Radio, television & communication equipment
58	Mining and quarrying	3	Mining and quarrying (non-energy)
59	Food and tobacco	4	Food products, beverages and tobacco
60	Paper, pulp and print	7	Pulp, paper, paper products, printing and publishing
61	Wood and wood products	6	Wood and products of wood and cork
62	Construction	30	Construction
63	Textile and leather	5	Textiles, textile products, leather and footwear
64	Non-specified (industry)	11	Rubber & plastics products
		20	Medical, precision & optical instruments
		25	Manufacturing nec; recycling (include Furniture)
65	Transport sector		
66	International aviation	35	Air transport
67	Domestic aviation		
68	Road	33	Land transport; transport via pipelines
69	Rail		
70	Pipeline transport		
71	Domestic navigation	34	Water transport
72	Non-specified (transport)		
73	Other sectors		
74	Residential	48	Private households with employed persons & extra-territorial organisations & bodies
75	Commercial and public services	29	Collection, purification and distribution of water
		31	Wholesale & retail trade; repairs
		32	Hotels & restaurants

		36	Supporting and auxiliary transport activities; activities of travel agencies
		37	Post & telecommunications
		38	Finance & insurance
		39	Real estate activities
		40	Renting of machinery & equipment
		41	Computer & related activities
		42	Research & development
		43	Other Business Activities
		44	Public admin. & defence; compulsory social security
		45	Education
		46	Health & social work
		47	Other community, social & personal services
76	Agriculture/forestry	1	Agriculture, hunting, forestry and fishing
77	Fishing		
78	Non-specified (other)		
79	Non-energy use		
80	Non-energy use industry/transformation/energy		
81	Memo: Feedstock use in petrochemical industry		
82	Non-energy use in transport		
83	Non-energy use in other sectors		
84	Elect.output in GWh		
85	Elec output-main activity producer ele plants		
86	Elec output-autoproducer electricity plants		
87	Elec output-main activity producer CHP plants		
88	Elec output-autoproducer CHP plants		
89	Heat output in TJ		
90	Heat output-main activity producer CHP plants		
91	Heat output-autoproducer CHP plants		
92	Heat output-main activity producer heat plant		
93	Heat output-autoproducer heat plants		

Anhang 4. Emissionen aus Produktion und Konsum, CO₂-Handelsbilanzen und Anteile an den globalen Verlagerungen ausgewählter Länder, 1995 und 2005

Land	CO ₂ -Produktion (kt CO ₂)		CO ₂ -Konsum (kt CO ₂)		CO ₂ -Handelsbilanz (kt CO ₂)		Anteil an globalen CO ₂ -Verlagerungen	
	1995	2005	1995	2005	1995	2005	1995	2005
Australien	264.709	359.326	300.141	468.558	35.432	109.233	1,5%	2,6%
Belgien	123.542	126.891	146.283	205.601	22.741	78.710	0,9%	1,9%
Dänemark	53.257	45.720	75.308	77.436	22.051	31.716	0,9%	0,8%
Deutschland	860.745	804.509	1.023.217	1.061.013	162.472	256.504	6,7%	6,1%
Frankreich	339.507	365.521	496.092	640.650	156.585	275.129	6,5%	6,6%
Großbritannien	514.305	595.784	736.513	827.360	222.208	231.575	9,2%	5,5%
Italien	379.052	429.897	531.609	609.834	152.557	179.937	6,3%	4,3%
Japan	1.099.055	1.192.862	1.529.729	1.573.257	430.674	380.396	17,8%	9,1%
Kanada	389.257	497.437	415.082	547.005	25.826	49.568	1,1%	1,2%
Korea	304.408	460.007	360.432	495.901	56.024	35.895	2,3%	0,9%

Mexiko	285.835	366.843	280.330	432.791	-5.504	65.948	-0,2%	1,6%
Niederlande	173.192	213.821	216.739	309.542	43.546	95.721	1,8%	2,3%
Österreich	61.908	76.860	88.026	121.522	26.117	44.662	1,1%	1,1%
Portugal	47.311	58.851	59.719	82.521	12.407	23.671	0,5%	0,6%
Schweden	50.881	50.135	88.323	83.265	37.442	33.130	1,5%	0,8%
Schweiz	35.831	42.396	124.030	124.967	88.199	82.571	3,6%	2,0%
Spanien	228.872	324.680	252.977	443.299	24.104	118.619	1,0%	2,8%
Vereinigte Staaten	4.840.985	5.447.103	5.181.343	6.701.690	340.357	1.254.587	14,1%	29,9%
Restl. OECD	909.054	1.002.180	1.044.980	1.207.486	135.930	205.303	5,6%	4,9%
OECD	10.961.706	12.460.823	12.950.873	16.013.698	1.989.168	3.552.875	82,2%	84,6%
Argentinien	103.705	158.240	126.197	131.571	22.493	-26.669	0,9%	-0,6%
Brasilien	208.196	282.939	252.351	297.760	44.155	14.820	1,8%	0,4%
Chile	44.151	68.955	40.023	55.071	-4.128	-13.884	-0,2%	-0,3%
China	3.079.016	4.747.619	2.472.501	3.757.182	-606.515	-990.437	-25,1%	-23,6%
Indien	794.754	1.256.492	706.513	1.120.836	-88.241	-135.656	-3,6%	-3,2%
Indonesien	180.351	308.450	240.988	341.592	60.636	33.142	2,5%	0,8%
Malaysia	103.650	226.267	75.197	124.355	-28.453	-101.912	-1,2%	-2,4%
Philippinen	52.786	75.754	60.076	68.109	7.290	-7.644	0,3%	-0,2%
Singapur	74.169	108.677	45.712	56.328	-28.457	-52.348	-1,2%	-1,2%
Südafrika	238.698	323.125	212.331	292.848	-26.367	-30.277	-1,1%	-0,7%
Thailand	135.795	282.691	145.384	189.947	9.589	-92.743	0,4%	-2,2%
OPEC	863.473	1.171.298	1.073.749	1.702.973	210.277	531.675	8,7%	12,7%
Restl. G77	3.482.438	4.690.717	2.056.773	2.418.945	-1.425.666	-2.271.772	-58,9%	-54,1%
G77	9.414.136	13.779.201	7.588.309	10.634.994	-1.825.828	-3.144.207	-75,5%	-74,9%
Russische Föderation	1.071.233	1.274.412	885.304	944.838	-185.929	-329.573	-7,7%	-7,9%
Restl. Länder	399.643	600.466	422.232	521.372	22.589	-79.095	0,9%	-1,9%
Welt gesamt	21.846.718	28.114.902	21.846.718	28.114.902	0	0	0,0%	0,0%

Anhang 5. Pro-Kopf-Emissionen aus Produktion und Konsum, Netto-Importe/Exporte pro Kopf und Anteile der Netto-Handelsflüsse am CO₂-Konsum ausgewählter Länder, 1995 und 2005

Land	CO ₂ -Produktion pro Kopf (t CO ₂ pro Person)		CO ₂ -Konsum pro Kopf (t CO ₂ pro Person)		CO ₂ -Handelsbilanz pro Kopf (t CO ₂ pro Person)		Anteil der Netto-Importe/Exporte am CO ₂ -Konsum	
	1995	2005	1995	2005	1995	2005	1995	2005
Australien	14,6	17,7	16,6	23,1	2,0	5,4	11,8%	23,3%
Belgien	12,3	12,2	14,5	19,8	2,3	7,6	15,5%	38,3%
Dänemark	10,2	8,4	14,4	14,3	4,2	5,9	29,3%	41,0%
Deutschland	10,5	9,7	12,5	12,8	2,0	3,1	15,9%	24,2%
Frankreich	5,8	6,0	8,5	10,5	2,7	4,5	31,6%	42,9%
Großbritannien	8,8	9,9	12,7	13,7	3,8	3,8	30,2%	28,0%
Italien	6,6	7,3	9,3	10,4	2,7	3,1	28,7%	29,5%
Japan	8,8	9,3	12,2	12,3	3,4	3,0	28,2%	24,2%
Kanada	13,3	15,4	14,2	17,0	0,9	1,5	6,2%	9,1%
Korea	6,8	9,6	8,0	10,4	1,2	0,7	15,5%	7,2%
Mexiko	3,1	3,5	3,1	4,2	-0,1	0,6	-2,0%	15,2%
Niederlande	11,2	13,1	14,0	19,0	2,8	5,9	20,1%	30,9%

Österreich	7,7	9,3	10,9	14,7	3,2	5,4	29,7%	36,8%
Portugal	4,7	5,6	6,0	7,8	1,2	2,2	20,8%	28,7%
Schweden	5,8	5,5	10,0	9,2	4,2	3,7	42,4%	39,8%
Schweiz	5,0	5,7	17,4	16,8	12,4	11,1	71,1%	66,1%
Spanien	5,8	7,5	6,4	10,2	0,6	2,7	9,5%	26,8%
Vereinigte Staaten	17,9	18,2	19,2	22,4	1,3	4,2	6,6%	18,7%
Restl. OECD	5,8	6,0	6,7	7,2	0,9	1,2	13,0%	17,0%
OECD	10,0	10,6	11,8	13,7	1,8	3,0	15,4%	22,2%
Argentinien	3,0	4,1	3,6	3,4	0,6	-0,7	17,8%	-20,3%
Brasilien	1,3	1,5	1,6	1,6	0,3	0,1	17,5%	5,0%
Chile	3,1	4,2	2,8	3,4	-0,3	-0,9	-10,3%	-25,2%
China	2,6	3,7	2,1	2,9	-0,5	-0,8	-24,5%	-26,4%
Indien	0,8	1,1	0,7	1,0	-0,1	-0,1	-12,5%	-12,1%
Indonesien	0,9	1,4	1,2	1,5	0,3	0,1	25,2%	9,7%
Malaysia	5,0	8,8	3,7	4,8	-1,4	-4,0	-37,8%	-82,0%
Philippinen	0,8	0,9	0,9	0,8	0,1	-0,1	12,1%	-11,2%
Singapur	21,3	25,1	13,1	13,0	-8,2	-12,1	-62,3%	-92,9%
Südafrika	5,8	6,7	5,1	6,1	-0,6	-0,6	-12,4%	-10,3%
Thailand	2,4	4,5	2,5	3,0	0,2	-1,5	6,6%	-48,8%
OPEC	3,6	3,9	4,4	5,6	0,9	1,8	19,6%	31,2%
Restl. G77	2,5	2,7	1,4	1,4	-1,0	-1,3	-69,3%	-93,9%
G77	2,1	2,7	1,7	2,1	-0,4	-0,6	-24,1%	-29,6%
Russische Föderation	7,2	8,9	5,9	6,6	-1,2	-2,3	-21,0%	-34,9%
Restl. Länder	5,8	8,7	6,2	7,5	0,3	-1,1	5,3%	-15,2%
Welt gesamt	3,8	4,3	3,8	4,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%

Anhang 6. Sektorenunterteilung des Datensatzes

Nr.	Name (Englisch)	Name (Deutsch)
1	Agriculture, hunting, forestry and fishing	Land- und Forstwirtschaft
2	Mining and quarrying (energy)	Bergbau (Energieträger)
3	Mining and quarrying (non-energy)	Bergbau (Metalle und Mineralien)
4	Food products, beverages and tobacco	Nahrungsmittel und Getränke
5	Textiles, textile products, leather and footwear	Textilien
6	Wood and products of wood and cork	Holz und Holzprodukte
7	Pulp, paper, paper products, printing and publishing	Papier
8	Coke, refined petroleum products and nuclear fuel	Koks und Raffinerieprodukte
9	Chemicals excluding pharmaceuticals	Chemikalien (ohne Pharmazeutika)
10	Pharmaceuticals	Pharmazeutika
11	Rubber & plastics products	Gummi und Plastik
12	Other non-metallic mineral products	Andere nicht-metallische Produkte
13	Iron & steel	Eisen und Stahl
14	Non-ferrous metals	Nichteisenmetalle
15	Fabricated metal products, except machinery & equipment	Verarbeitete Metallprodukte (ohne Maschinen)
16	Machinery & equipment, nec	Andere Maschinen und Geräte
17	Office, accounting & computing machinery	Büro- und Rechenmaschinen
18	Electrical machinery & apparatus, nec	Elektrische Geräte
19	Radio, television & communication equipment	Radio-, Fernseh- & Kommunikationsgeräte
20	Medical, precision & optical instruments	Medizinische Instrumente
21	Motor vehicles, trailers & semi-trailers	Motorisierte Fahrzeuge
22	Building & repairing of ships & boats	Bootsbau

23 Aircraft & spacecraft	Flugzeugbau
24 Railroad equipment & transport equip nec.	Schienefahrzeugbau
25 Manufacturing nec; recycling (include Furniture)	Möbel und Recycling
26 Production, collection and distribution of electricity	Elektrizität
27 Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains	Produktion und Verteilung von Erdgas
28 Steam and hot water supply	Dampf und Heißwasser
29 Collection, purification and distribution of water	Wasser und Abwasser
30 Construction	Baugewerbe
31 Wholesale & retail trade; repairs	Handel
32 Hotels & restaurants	Hotels & Restaurants
33 Land transport; transport via pipelines	Landtransport
34 Water transport	Wassertransport
35 Air transport	Lufttransport
36 Supporting and auxiliary transport activities; activities of travel agencies	Andere Transportaktivitäten
37 Post & telecommunications	Post und Telekommunikation
38 Finance & insurance	Banken und Versicherungen
39 Real estate activities	Immobilienhandel und -vermietung
40 Renting of machinery & equipment	Mobilienvermietung
41 Computer & related activities	IT-Dienstleistungen
42 Research & development	Forschung und Entwicklung
43 Other Business Activities	Diverse Dienstleistungen
44 Public admin. & defence; compulsory social security	Öffentliche Verwaltung und Verteidigung
45 Education	Bildung
46 Health & social work	Gesundheitswesen
47 Other community, social & personal services	Andere öffentliche und soziale Dienstleistungen
48 Private households with employed persons & extra-territorial organisations & bodies	Angestellte von Privathaushalten und außerterritoriale Organisationen
