



Kumulierte Treibhausgas- emissionen ausgewählter Sektoren in Österreich

Claudia Kettner, Mark Sommer

Wissenschaftliche Assistenz:
Katharina Köberl-Schmid, Susanne Markytan

Dezember 2024
Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Kumulierte Treibhausgasemissionen ausgewählter Sektoren in Österreich

Claudia Kettner, Mark Sommer

Dezember 2024

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Im Auftrag der Kammer für Arbeiter und Angestellte für Niederösterreich

Begutachtung: Daniela Kletzan-Slamanig

Wissenschaftliche Assistenz: Katharina Köberl-Schmid, Susanne Markytan

Für die Erreichung der Klimaziele ist eine umfassende Transformation in Richtung einer klimaneutralen Wirtschafts- und Lebensweise unerlässlich. Als Grundlage für diese Transformation ist ein breites Verständnis der kumulierten Emissionen entlang von Wertschöpfungsketten erforderlich. Dadurch wird sichergestellt, dass Emissionsreduktionsmaßnahmen einzelner Branchen und Sektoren im Gesamtkontext mit den Klimazielen vereinbar sind, unter Berücksichtigung der verfügbaren Potenziale für eine erneuerbare Energieversorgung und des verbleibenden Treibhausgasbudgets. Die Studie schätzt die kumulierten Treibhausgasemissionen ausgewählter österreichischer Gütergruppen entlang ihrer Wertschöpfungsketten ab. Dabei wurden sowohl die vorleistungsbezogenen Emissionen ("embedded emissions") im In- und Ausland als auch die direkt bei der Produktion anfallenden Treibhausgasemissionen berücksichtigt, wobei bei Letzteren zwischen energie- und prozessbedingten Emissionen unterschieden wird.

2024/2/S/WIFO-Projektnummer: 23126

© 2024 Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Medieninhaber (Verleger), Hersteller: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

1030 Wien, Arsenal, Objekt 20 • Tel. (43 1) 798 26 01 0 • <https://www.wifo.ac.at> • Verlags- und Herstellungsort: Wien

Kostenloser Download: <https://www.wifo.ac.at/publication/pid/55877042>

Inhalt

1. Einleitung	2
2. Literaturüberblick	4
3. Methodischer Ansatz	8
3.1 Modell DEIO	8
3.2 Modellerweiterung	9
3.3 Anwendung	10
3.4 Grenzen des Ansatzes	10
4. Ergebnisse	12
5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	16
Literatur	19
Appendix	22

1. Einleitung

Österreich hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2040 klimaneutral zu werden, die EU strebt Netto-Null-Emissionen bis 2050 an. Diese Ziele basieren auf der traditionellen Treibhausgasberichterstattung nach der UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC).

Diese herkömmliche Erfassung von Treibhausgasemissionen bezieht sich auf die Emissionen, die von Akteuren wie Unternehmen oder Haushalten innerhalb eines Landes verursacht werden ("produktionsbasierte" Treibhausgasemissionen). Eine andere Perspektive stellt die Erfassung von "konsumbasierten" Treibhausgasemissionen dar. Dieser Zugang, auch als "CO₂-Fußabdruck" bekannt, erfasst alle Emissionen, die aufgrund des Konsums der Bevölkerung eines Landes entstehen, unabhängig davon, wo auf der Welt diese Emissionen tatsächlich anfallen. Für Österreich fielen für eine Auswertung des Jahres 2011 die konsumbasierten Emissionen um ca. 45-60% höher aus als die produktionsbasierten Treibhausgasemissionen (Umweltbundesamt, 2023).

Eine weitere Betrachtungsweise fokussiert auf die kumulierten Treibhausgasemissionen von Gütergruppen entlang ihrer Wertschöpfungsketten. Hier können neben den direkten Emissionen in der Produktion (Scope 1 Emissionen), auch die energiebedingten Emissionen (insb. Emissionen aus der fossilen Stromerzeugung, Scope 2 Emissionen) sowie andere Emissionen, die in der Herstellung von Vorleistungen entstehen (Scope 3 Emissionen), berücksichtigt werden.

Für die Erreichung der Klimaziele ist eine umfassende Transformation in Richtung einer klimaneutralen Wirtschafts- und Lebensweise unerlässlich. Als Grundlage für diese Transformation ist ein breites Verständnis der kumulierten Emissionen entlang von Wertschöpfungsketten erforderlich. Dadurch wird sichergestellt, dass Emissionsreduktionsmaßnahmen einzelner Branchen und Sektoren im Gesamtkontext mit den Klimazielen vereinbar sind, unter Berücksichtigung der verfügbaren Potentiale für eine erneuerbare Energieversorgung und des verbleibenden Treibhausgasbudgets. Durch die Betrachtung der kumulierten Emissionen kann aufgezeigt werden, in welchen Bereichen Emissionsreduktionsmaßnahmen im Inland einen großen Hebel darstellen und in welchen Bereichen internationalen Abkommen oder auch dem CO₂-Grenzausgleichsmechanismus eine wichtigere Bedeutung zukommt, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Im Rahmen dieser Studie werden die kumulierten Treibhausgasemissionen ausgewählter österreichischer Gütergruppen entlang ihrer Wertschöpfungsketten für das Jahr 2018 abgeschätzt. Dabei werden sowohl die vorleistungsbezogenen Emissionen ("embedded emissions") im In- und Ausland als auch die direkt bei der Produktion bzw. Dienstleistungen anfallenden Treibhausgasemissionen berücksichtigt, wobei bei Letzteren zwischen energie- und prozessbedingten Emissionen unterschieden wird (Abbildung 1).

Abbildung 1. Betrachtete Emissionskategorien

	Inland	Ausland
Energie	<p>Inländische Energieemissionen der mit dem Sektor verbundenen Aktivitäten</p> <p>Gemäß "Fossile Emissionen" in der Luftemissionsrechnung der Statistik Austria</p>	<p>CO₂-Emissionen gemäß den mit importierten Gütergruppen verbundenen Emissionen. Diese wurden mittels OECD Datensets (ICIO und AEA) berechnet.</p> <p>Darin sind energiebedingte und prozessbedingte Emissionen aggregiert (siehe OECD 2024).</p> <p>Nicht für alle Partnerländer sind Emissionsdaten vorhanden.</p>
Prozess	<p>Inländische Prozessemissionen der mit dem Sektor verbundenen Aktivitäten</p> <p>Gemäß "Fossile Emissionen" in der Luftemissionsrechnung der Statistik Austria</p>	<p>Nicht für alle Partnerländer sind Emissionsdaten vorhanden.</p>

Q: WIFO-Darstellung, OECD 2024, https://www.oecd-ilibrary.org/environment/data/oecd-environment-statistics/air-and-climate-air-and-greenhouse-gas-emissions-by-industry-edition-2020_84559693-en.

Die vorleistungsbezogenen Emissionen werden für vier ausgewählte Sektoren berechnet und in drei Emissionskategorien unterteilt (Abbildung 1). Weiters wird zwischen Emissionen, die durch den Export bedingt werden, und solchen, die auf die inländische Nachfrage zurückzuführen sind, unterschieden.

Die vier Sektoren wurden im Hinblick auf ihre Import-/ und Exportanteile sowie auf ihre (überwiegende) Emissionsstruktur ausgewählt:

- NACE C24.1-3&5 Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung
 - Importanteil Vorleistungen: hoch; Exportanteil: hoch
 - Emissionen: direkt (v.a. prozessbezogen) Inland & vorleistungsbezogen Ausland
- NACE F41-43 Bau
 - Importanteil Vorleistungen: niedrig; Exportanteil: niedrig
 - Emissionen: direkt (v.a. energiebezogen) & vorleistungsbezogen Inland
- NACE C29 Herstellung von Kraftwagen und -teilen
 - Importanteil Vorleistungen: niedrig; Exportanteil: hoch
 - Emissionen: vorleistungsbezogen In- & Ausland
- NACE P85 Erziehung und Unterricht
 - Importanteil Vorleistungen: niedrig; Exportanteil: niedrig
 - Emissionen: direkt (Heizenergie) und vorleistungsbezogen In- & Ausland

2. Literaturüberblick

In den letzten Jahren ist das Interesse an konsumbasierten Emissions- und Ressourcenbilanzen stark gestiegen. In zahlreichen Studien werden konsumbasierte Treibhausgasemissionen (Carbon Footprint) und produktionsbasierte Treibhausgasemissionen (territoriale Emissionen) einander gegenübergestellt, um die Auswirkungen des Handels auf das nationale Emissionsbudget aufzuzeigen. Angesichts der steigenden Menge an Gütern, die über Ländergrenzen hinweg gehandelt werden, ist die traditionelle territoriale Emissionsbilanzierung unzureichend. Sie lässt außer Acht, wie die Produktion eines Landes durch Exporte getrieben wird und wie der Konsum durch Importe Emissionen in anderen Ländern verursacht (z.B. Lenzen et al. 2012; Peters et al. 2011).

Unterschiedliche methodische Herangehensweisen beschäftigen sich mit der besseren Erfassung der gesamten Emissionen. Neben dem Carbon Footprint, wird auch auf die kumulierten Treibhausgasemissionen von Gütergruppen entlang ihrer Wertschöpfungsketten fokussiert. Hier können neben den direkten Emissionen in der Produktion (Scope 1 Emissionen), auch die energiebedingten Emissionen (insb. Emissionen aus der fossilen Stromerzeugung, Scope 2 Emissionen) sowie andere Emissionen, die in der Herstellung von Vorleistungen entstehen (Scope 3 Emissionen), berücksichtigt werden. Zahlreiche Studien wurden durchgeführt, um die im internationalen Handel eingebetteten Emissionen abzuschätzen. Dazu werden üblicherweise Input-Output-Ansätze und in zunehmendem Maße multiregionale Input-Output-Modelle (MRIO)¹ gewählt, da sie den geeignetsten methodischen Rahmen für die Berechnung des Emissions-Fußabdrucks auf nationaler und supranationaler Ebene bieten (z.B. Bhattacharya et al. 2020; Jakob et al. 2014; Knight und Schor 2014; Makarov und Alataş 2024; Tukker et al. 2020; Wiedmann 2009). Diese Modelle liefern ein konsistentes Bild der Wirtschaft und zeigen, wie die Inputs und Outputs von Wirtschaftssektoren innerhalb und zwischen Ländern über den (globalen) Handel verbunden sind. Darüber hinaus sind sie in der Lage, die gesamte vor- und nachgelagerte Wertschöpfungskette und die damit verbundenen Emissionen zu verfolgen.

Ein anderer Ansatz zur Analyse von konsumbasierten Emissionen sind Lebenszyklusanalysen, die die konsumbasierten Emissionen eines Landes als Summe der inländischen Emissionen zuzüglich der Lebenszyklusemissionen importierter Güter abzüglich der Lebenszyklusemissionen exportierter Güter darstellen (Windsperger et al. 2019).

Eine zentrale Fragestellung im Spannungsfeld zwischen konsum- und produktionsbasierten Emissionsberechnungen betrifft die Verantwortlichkeit für die Entstehung von Treibhausgasemissionen (z.B. Gallego und Lenzen 2005; Kander et al. 2015; Lenzen et al. 2007; Lenzen und Murray 2010; Rodrigues et al. 2006; Steininger et al. 2016), bzw. mit welchen unterschiedlichen Politikoptionen konsum- oder produktionsbasierte Emissionen vermieden werden können (z.B. de Boer et al. 2019; Moran et al. 2020; Pollitt et al. 2020; Wood et al. 2020). Darüber hinaus stellt sich die Frage, welche Effekte eine konsequente globale Dekarbonisierung über die

¹ Diese werden z.T. in Multiregionale Allgemeine Gleichgewichtsmodelle (CGE-Modelle) oder makroökonomische Strukturmodelle integriert.

Wertschöpfungsketten hinweg auf die Wirtschaftssektoren einzelner Länder hätte (Franzen and Mader, 2018; Grubb et al. 2022; Rocco et al. 2020; Sommer and Kratena, 2020).

Einige wenige Studien haben bisher konsumbasierte oder vorleistungsbezogene Emissionen für Österreich analysiert. Davis und Caldeira (2010) analysieren produktions- und konsumbasierte CO₂-Emissionen von 113 Ländern/Regionen, darunter Österreich, mit einem MRIO auf der Grundlage globaler Wirtschaftsdaten aus dem Jahr 2004. Sie zeigen, dass 23% der globalen CO₂-Emissionen (6,2 Gt) international gehandelt wurden, und zwar in erster Linie als Exporte aus China und anderen Schwellenländern an Verbraucher in Industrieländern. Österreich zählt dabei zu jenen wohlhabenden Ländern, wie auch die Schweiz, Schweden, das Vereinigte Königreich und Frankreich, die mehr als 30% der konsumbasierten Emissionen importierten. Im Gegensatz dazu wurden 22,5% der in China im Jahr 2004 entstandenen Emissionen netto an Verbraucher in andere Länder exportiert.

Steininger et al. (2018) analysieren die konsumbasierten Treibhausgasemissionen in Österreich auf sektoraler Ebene mit einem MRIO-Modell. Ihren Berechnungen zufolge entstanden insgesamt 62% der konsumbasierten Emissionen Österreichs im Jahr 2011 im Ausland (34% sogar außerhalb der EU). Auf sektoraler Ebene zeigen sich starke Unterschiede in Hinblick auf die größten Emittenten, je nachdem, ob ein produktions- oder konsumbasierter Zugang gewählt wird: Bei der konsumbasierten Berechnung entfielen die höchsten Emissionen auf die Sektoren Bauwesen, öffentliche Verwaltung (einschließlich Verteidigung, Gesundheit und Bildung) sowie Groß- und Einzelhandel, während bei der produktionsbasierten Emissionsbilanzierung die Treibhausgasemissionen in den Emissionshandels-Sektoren Elektrizitätserzeugung, Eisen und Stahl sowie nichtmetallische Mineralien wie Zement am höchsten ausfielen.

Muñoz und Steininger (2010) quantifizieren Österreichs konsumbasierte Emissionen für zwei frühere Jahre, 1997 und 2004, ebenfalls mit Hilfe eines MRIO-Modells. Demnach überstiegen 1997 die konsumbasierten Emissionen die produktionsbasierten um 36%, und 2004 bereits um 44%. Muñoz und Steininger schätzen, dass für jeden Euro, der im Jahr 2004 für die österreichische Endnachfrage ausgegeben wurde, zwei Drittel der CO₂-Emissionen außerhalb der österreichischen Grenzen entstanden, und dass ein Drittel der Emissionen aus Nicht-Annex-I-Ländern des Kyoto-Protokolls² stammte.

Windsperger et al. (2020) analysieren die konsumbasierten Treibhausgasemissionen österreichischer Industriesektoren mit einem Ansatz, der auf physikalischen Strömen in Kombination mit lebenszyklusbasierten Emissionsfaktoren und Emissionsintensitäten basiert. Wie Steininger et al. (2018) kommen sie zu dem Ergebnis, dass die konsumbasierten Emissionen die produktionsbasierten Emissionen in Österreich um ca. 60% übersteigen. Zu den emissionsintensivsten Industriesektoren zählen nach dieser konsumbasierten Bilanzierung die chemische Industrie und die Metallindustrie. In diesen Sektoren sind die Importe der Haupttreiber der Emissionen insgesamt und diese sind zudem emissionsintensiver als die in Österreich hergestellten Produkte.

² Bei den Vertragsparteien des UNFCCC, die nicht in Anhang I des Übereinkommens aufgeführt sind, handelt es sich zumeist um Entwicklungsländer mit niedrigem Einkommen.

Nabernegg et al. (2019) kombinieren ein allgemeines Gleichgewichtsmodell mit einem multi-regionalen Input-Output-Modell, um die Wirkung unterschiedlicher Politikinstrumente in drei Bereichen mit besonders hohen konsumbasierten Emissionen in Österreich (Bauwesen, öffentliche Gesundheit und Mobilität³) zu analysieren. Während die produktionsbasierten Emissionen aus dem Bauwesen unter 3 Mt CO₂ betragen, liegen die konsumbasierten Emissionen des Sektors bei rund 13 Mt CO₂; im Mobilitätssektor liegen die produktionsbasierten Emissionen bei etwas mehr als 6,3 Mt CO₂ und konsumbasierten Emissionen bei knapp 14,5 Mt CO₂⁴. Nabernegg et al. zeigen, dass die Effektivität der unterschiedlichen Politikinstrumente in Hinblick auf die Emissionsreduktion durch die Lieferverflechtungen des betroffenen Sektors sowie durch die Substitutionseffekte innerhalb der Endnachfrage bestimmt werden.

Muñoz et al. (2020) fokussieren auf die regionale Dimension der konsumbasierten Emissionen in Österreich. In der Studie werden multivariate Regressionstechniken verwendet, um die Unterschiede im CO₂-Fußabdruck zwischen Regionen mit unterschiedlicher Besiedlungsdichte in Österreich zu untersuchen. Als Datenbasis dient die österreichische Konsumerhebung für das Jahr 2004; indirekte Emissionen werden dabei mit Hilfe einer MRIO (Global Trade Analysis Project (GTAP) v9) ergänzt. Die Ergebnisse zeigen, dass Stadtbewohner:innen in Österreich den niedrigsten CO₂-Fußabdruck aufweisen, und Bewohner:innen in Regionen mit mittlerer Besiedlungsdichte den höchsten; der CO₂-Fußabdruck ländlicher Regionen liegt in der Mitte. Dabei haben städtische Gebiete höhere indirekte Emissionen als ländliche Gebiete, aber geringere direkte Emissionen. Zudem zeigen sie, dass der CO₂-Fußabdruck im obersten Einkommensdezil mehr als doppelt so hoch ist wie im untersten Einkommensdezil und jeweils rund ein Viertel der Emissionen auf direkte Emissionen und damit drei Viertel auf indirekte Emissionen im In- und Ausland zurückzuführen sind.

Theine et al. (2022) nutzen eine ähnliche Datenbasis: Sie kombinieren eine MRIO (EXIOBASE 2010) mit Daten aus der Konsumerhebung (Welle 2009/10), um Emissionsunterschiede nach Einkommensdezilen zu analysieren. Ihre Ergebnisse zeigen, dass durchschnittlich etwa 55% der Emissionen aus dem Konsum der österreichischen Haushalte (direkt und indirekt) im Inland anfallen, 20% in anderen EU-Ländern und 25% im Rest der Welt. Höhere Einkommensdezile weisen einen geringfügig höheren Anteil der importierten Emissionen als niedrige Einkommensdezile auf.

Für das Bauwesen in Österreich liegen bislang zwei Studien zur spezifischen Ermittlung konsumbasierter Emissionen vor. Hoxha et al. (2020) kombinieren makroökonomische I/O-Daten zu den Wirtschaftsströmen im Zusammenhang mit der Errichtung von Gebäuden mit Bottom-up Daten zu den (konsumbasierten) Emissionen von Gebäuden, um Emissionsreduktionsziele für den Gebäudesektor zu entwickeln. Die konsumbasierten Emissionen für die Errichtung von Gebäuden in Österreich liegen entsprechend dieser Berechnungsmethode dabei 5,7-mal so hoch wie die entsprechenden produktionsbasierten Emissionen. Die Studie von Truger et al. (2022) bewertet

³ Der Sektor "Mobilität" umfasst insbesondere Emissionen aus dem Verkehrssektor, bei den konsumbasierten Emissionen werden auch Emissionen aus dem Sektor Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeugteile sowie die indirekten Emissionen der Haushalte im Bereich der Erdöl- und Kohleprodukte berücksichtigt.

⁴ Für den Sektor "Gesundheit" werden keine Werte ausgewiesen.

die jährlichen gebäudebezogenen Treibhausgasemissionen für den österreichischen Gebäudebestand aus einer Lebenszyklusperspektive (d.h. einschließlich Emissionen aus dem Betrieb und vorleistungsbezogener Emissionen). Die vorleistungsbezogenen Emissionen werden dabei sowohl mit einem prozessbasierten als auch mit einem I/O-basierten Lebenszyklusbewertungsansatz berechnet. Durch die Berücksichtigung der indirekten Emissionen sowie der Emissionen aus Nichtwohngebäuden steigen die Emissionen aus dem Betrieb um den Faktor 2,4. Die prozessbasierte Emissionsbilanz führt zu niedrigeren Emissionen als der I/O-basierte Ansatz. Die gesamten gebäudebezogenen Emissionen steigen in Österreich um den Faktor 3 bis 4, von rund 7 Mt CO₂e pro Jahr (direkte betriebliche Emissionen, rund 10% der nationalen Emissionen) auf 22-31 Mt CO₂e pro Jahr.

Der CO₂-Fußabdruck verschiedener in Österreich produzierter Fahrzeugkomponenten wurde von Rüdele und Wolf (2023) mit Hilfe einer Materialflussrechnung untersucht. Sie zeigen, dass die indirekten Emissionen aus importierten Materialien den CO₂-Fußabdruck viel stärker beeinflussen als die Produktionsschritte der in Österreich ansässigen Komponentenerzeuger. In allen Fallstudien machte(n) die letzte(n) Produktionsstufe(n) weniger als 10% der gesamten Emissionen aus. Dementsprechend stellt eine Substitution der Vorleistungen durch emissionsarme Alternativen (d.h. recycelte, biobasierte oder mit erneuerbaren Energien hergestellte Materialien) in diesem Sektor den zentralen Hebel zur Reduktion des CO₂-Fußabdrucks dar.

3. Methodischer Ansatz

Im vorliegenden Projekt wurde das am WIFO entwickelte Modell DEIO verwendet (Kratena et al., 2014), um die mit vier ausgewählten Sektoren verbundenen Emissionen im Inland und Ausland zu berechnen.

3.1 Modell DEIO

Die Analyse mit DEIO entspricht einer Erweiterung der traditionellen Input-Output-Analyse. Dieser Ansatz liefert Informationen darüber, welche nachgelagerten Wirkungen eine gewisse Nachfrage nach bestimmten Gütergruppen (z.B. Eisenprodukte und Baudienstleistungen) aufgrund der wirtschaftlichen Verflechtungen kurzfristig auslöst. DEIO basiert auf den Input-Output-Tabellen 2018 nach ÖNACE-Klassifikation⁵. Die Erweiterung im Vergleich zur traditionellen Multiplikatoranalyse umfasst i) die Verwendung weiterer von Statistik Austria angebotener Tabellen⁶ sowie ii) die Integration der konsuminduzierten Nachfrage der privaten Haushalte aufgrund veränderter Einkommensströme und iii) die Abschätzung der Auswirkungen auf ausgewählte⁷ öffentliche Einnahmen und Ausgaben.

Auf Basis des Modells können sogenannte Multiplikatoren ermittelt werden, die angeben, wie viele Güter und Dienstleistungen in einer Wirtschaft insgesamt produziert werden, um eine Einheit zu liefern bzw. welche Beschäftigungseffekte und welches Steueraufkommen damit verbunden sind. Die Multiplikatoren ergeben sich aus den Vorleistungsverflechtungen der Wirtschaft. Dabei wird zwischen direkten, indirekten und induzierten Multiplikatoreffekten unterschieden. Die indirekten und induzierten Effekte verstärken in der Regel den direkten Effekt, der auch als "Erstrundeneffekt" bezeichnet wird.

Der "direkte Effekt" berücksichtigt die Güterproduktion und die Beschäftigung, die im jeweils bereitstellenden Sektor mit einer bestimmten Nachfrage verbunden sind. Beispielsweise führt die Nachfrage nach Metallerzeugnissen in dem Sektor, der diese bereitstellt⁸, zu Umsatz und erhöht somit den Produktionswert. Die in diesem Sektor unmittelbar generierten Löhne, Gewinne und Steuern stellen den direkten Effekt dar.

Der "indirekte Effekt" berücksichtigt weiters die Produktion und Wertschöpfung, die in den vorgelagerten Sektoren ausgelöst werden. Ein großer Vorleistungsposten des Tiefbausektors sind etwa Güter des Sektors "Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden" der unter anderem die Baustoffherstellung beinhaltet. Der indirekte Effekt ergänzt somit den direkten Effekt.

Der "einkommensinduzierte Konsumeffekt" bezieht die Änderung der Lohneinkommen – die Teil der sektoralen Wertschöpfung sind – und des damit verbundenen privaten Konsums ein. Es wird unterstellt, dass ein Teil der direkt und indirekt generierten Löhne für den privaten Konsum

⁵ Die Standard Input-Output-Tabellen von Statistik Austria umfassen 74 ÖNACE-Sektoren und ÖCPA-Gütergruppen.

⁶ Die Input-Output-Tabellen umfassen insgesamt 35 Tabellen, die Güter- und Sektorspezifische Importe, Steuern, Subventionen sowie Handels- und Transportspannen beinhalten.

⁷ Steuereinnahmen und Subventionen im Rahmen der Input-Output-Tabellen sowie Lohnsteuereinnahmen und Ausgaben für Arbeitslosenunterstützung.

⁸ In diesem Beispiel Sektor NACE 24.1-3 & 5, Eisenmetallprodukte.

ausgegeben wird. Dies wiederum führt zu Produktionssteigerungen in den Sektoren, die Konsumgüter bereitstellen, und verstärkt wiederum die direkten und indirekten Effekte. Ein möglicher weiterer Effekt ist die Reaktion von sektoralen Investitionstätigkeiten, die aufgrund geänderter Betriebsgewinne steigen könnten und somit ebenfalls zu zusätzlicher Nachfrage führen können. Dieser "gewinninduzierte Investitionseffekt" wurde in DEIO bisher nicht implementiert.

3.2 Modellerweiterung

Für das vorliegende Projekt wurden sektor- und güterspezifische Emissionskoeffizienten für das Jahr 2018 ermittelt. Einerseits wurden inländische Emissionen auf Basis der Luftemissionsrechnung (LER) (Statistik Austria, 2024) mit dem Produktionswert in Verhältnis gesetzt. Somit erhält man eine sektorspezifische Emissionsintensität der Produktion. Mittels dieser Intensität kann für ein sektorales Produktionsniveau, das durch eine bestimmte Nachfrage ausgelöst wird, damit verbundene Emissionen abgeleitet werden. Das Resultat umfasst zwei Gruppen von CO₂-Emissionen wie sie in der LER aufliegen. Einerseits Emissionen, die durch energetischen Einsatz (Energie aus Verbrennung) entstehen, und andererseits Emissionen, die prozessbedingt (z.B. durch chemische Reaktionen) entstehen.

Weiters wurden güterspezifische Emissionskoeffizienten für die österreichischen Importe berechnet. Dazu wurden zwei Datensets aus der OECD-Datenbank herangezogen. Einerseits die Luftemissionskonten (Air Emissions Accounts, AEA), die Emissionen nach Sektoren und Ländern enthalten, und andererseits die globale multiregionale Input-Output-Tabelle (ICIO), die die nationalen und internationalen wirtschaftlichen Verflechtungen von 76 Ländern und 45 Sektoren darstellt.

Im ersten Schritt wurde analog ein sektorspezifischer CO₂-Koeffizient (Verhältnis Produktion zu Emissionen) für Sektoren aller Länder abgeleitet. Da für manche Länder⁹ keine Emissionsdaten vorhanden sind, wurden diese bei 0 belassen¹⁰. Wo in den AEA Emissionen nur für übergeordnete Wirtschaftsbereiche vorliegen, wurden sie in der Struktur eines wirtschaftlich ähnlichen Landes auf die Sektoren aufgeteilt um die Daten trotzdem nutzbar zu machen. Da für die Volksrepublik China – die ein relativ wichtiger Player im internationalen Handel ist – keine Emissionsdaten in der OECD-Datenbank verfügbar sind, wurden hier die Summe der Emissionen von einer Veröffentlichung der IEA¹¹ verwendet sowie die Anteile der zentralen Sektoren aus einer Schätzung des IMF¹², jeweils für das Jahr 2018. Die Aufteilung dieser Sektoren auf die IOT-Wirtschaftsbereiche erfolgte gemäß der Aufteilung der Produktionswerte.

Im zweiten Schritt wurde die Importnachfrage Österreichs nach einzelnen Gütergruppen in der ICIO verwendet, um eine klassische Input-Output-Analyse durchzuführen und die mit diesen Importen verbundene Produktionsaktivität entlang der Wertschöpfungskette und schlussendlich die Emissionen abzuleiten. Das Verhältnis der monetären Importnachfrage zu den damit

⁹ Siehe Tabelle A – 1 im Appendix.

¹⁰ Das ergänzen um die fehlenden Emissionsdaten könnte die mit dem Import verbundenen Emissionen – je nach Kategorie – um bis zu einige Prozentpunkte erhöhen.

¹¹ <https://www.iea.org/countries/china/emissions>

¹² <https://www.elibrary.imf.org/display/book/9798400217296/CH001.xml>

direkten und indirekt verbundenen Emissionen ergibt die Emissionsintensität der jeweiligen Importgüter.

Diese Koeffizienten wurden in das DEIO eingepflegt und ermöglichen somit die Darstellung der mit Importen verbundenen, im Ausland entstandenen Emissionen.

3.3 Anwendung

Im vorliegenden Projekt wurden vier Sektoren ausgewählt und die jeweiligen kumulierten Emissionen berechnet. In jedem Fall wurde die Nachfrage nach dem sektorspezifischen Gut¹³ eingesetzt und eine Simulation durchgeführt. Diese Nachfrage wurde dann auf ein Niveau festgelegt, sodass die resultierende Produktion (direkt, indirekt und induziert) im jeweiligen Sektor genau dem Niveau des Basisjahres 2018 entspricht. Beispielsweise wurde die Nachfrage nach dem Gut "Erziehungs- und Unterrichtsdienstleistungen" auf 22,52 Mrd.€ gesetzt. Diese Nachfrage bewirkt, dass der Produktionswert des Sektors "Erziehung und Unterricht" – unter Berücksichtigung indirekter und induzierter Effekte – auf 22,38 Mrd.€ kommt (entspricht dem Produktionswert des Jahres 2018). Somit wird der Sektor direkt aktiv und auch die mit dem Sektor verbundenen Vorleistungen und Nachfrageeffekte. Die heimische Produktion und Importe, die mit dieser Nachfrage bzw. dem Sektor verbunden sind, lassen dann – unter Anwendung der Emissionsintensitäten – die Ableitung der Emissionen zu.

3.4 Grenzen des Ansatzes

Bei der Interpretation der Ergebnisse der hier angewendeten Methode müssen die dazugehörigen Grenzen mitbedacht werden. Einerseits liegen diese in der Datenqualität und andererseits in der Methode.

Die zu Grunde liegende Input-Output-Tabelle (IOT) stellt eine aggregierte Form der wirtschaftlichen Verflechtung dar die Firmen und Güter zu Gruppen zusammenfasst. Beispielsweise ist in der Standard-Input-Output-Tabelle die Bereitstellung und Erzeugung von Strom, Fernwärme und die Bereitstellung von Gas im Sektor D35 "Energieversorgung" zusammengefasst. Ebenso die Herstellung und Bearbeitung von Eisen und Nicht-Eisenmetallen in Sektor C24 "Metallerzeugung und -bearbeitung". Weiters sind nicht alle Betriebe erfasst, sondern nur jene mit einer Wirtschaftsleistung von 10 Mio.€ oder mehr. D.h. wird bei einer Analyse ein IOT verwendet, werden die Effekte von Güter- und Sektorgruppen berechnet. In der IOT von DEIO wurde durch die Zerlegung¹⁴ der Sektoren D35 und C23 eine Verbesserung erzielt. Die IOT die für die Berechnung der Emissionen in den Importen verwendet wurde (OECD-ICIO¹⁵), enthält mit 45 Sektoren und 76 Regionen zwar wertvolle Informationen, aber gerade die für die Emissionen relevanten Sektoren sind höher aggregiert als in der IOT Österreichs von DEIO. Das sind Bergbau (B), Energieversorgung (D35), Metallerzeugung (C24) sowie Herstellung von Baumaterialien (C23). Dadurch können Emissionsintensitäten über- oder unterschätzt werden. Es gibt zwar andere

¹³ Das sektorspezifische Gut ist jene Gütergruppe, die ein Sektor primär erzeugt; beispielsweise erzeugt der Sektor "Herstellung von Metallen" hauptsächlich das Gut "Metalle".

¹⁴ Sonderauswertung von Statistik Austria.

¹⁵ <https://www.oecd.org/en/data/datasets/inter-country-input-output-tables.html>

multi-regionale Input-Output-Tabellen wie beispielsweise "Exiobase" oder "Gloria"¹⁶, die disaggregierte Sektoren und Güter enthalten, aber die aufgrund der unzureichenden Datenqualität hier nicht zur Anwendung kamen. IOTs werden mit vier bis fünf Jahren Verzögerung veröffentlicht und sind somit nicht besonders aktuell. Da in den letzten Jahren insbesondere in der Energiebereitstellung viel Dynamik zu beobachten war, liegen die heutigen Emissionskoeffizienten im Inland und in den Importen vermutlich unter den hier ermittelten.

Die Methode des DEIO birgt ebenfalls Grenzen. Einkommensinduzierte Effekte setzen eine definierte Reaktion zu zusätzlichem Konsum bei zusätzlichem Einkommen voraus. Diese "marginale Konsumneigung" ist zwar durch Zeitreihenanalyse zu ermitteln, hängt aber tatsächlich von vielen Faktoren ab, die die Konsumneigung beeinflussen und nicht jedes Jahr gleich sind. Beispiele hierfür sind Zinsniveaus, Konjunktur oder Inflation. Weiters wird in der Input-Output-Analyse von einer linearen Beziehung zwischen Inputs, Outputs und hier auch Emissionen ausgegangen. Nichtlineare Prozesse werden vermutlich nicht so wiedergespiegelt, wie sie in der Realität stattfinden.

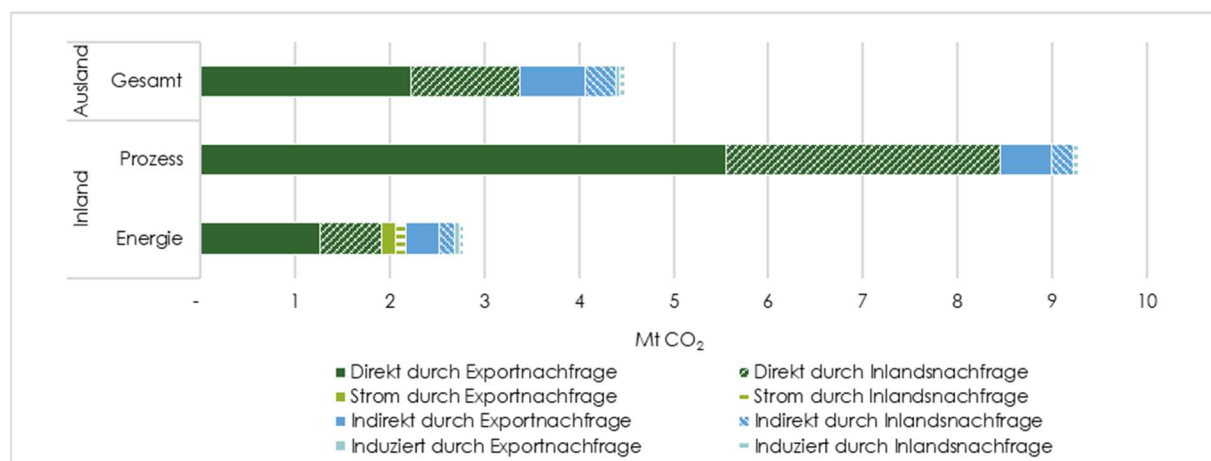
¹⁶ <https://ielab.info/labs/ielab-gloria> und <https://www.exiobase.eu/>.

4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die vier betrachteten Sektoren beschrieben. Wie in Abschnitt 0 erläutert, werden dabei für alle Sektoren folgende Kategorien von Emissionen unterschieden: direkte Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe oder aus Industrieprozessen des jeweiligen Sektors, indirekte Emissionen aus dem Stromverbrauch, indirekte Emissionen aus sonstigen Vorleistungen¹⁷, sowie induzierte Emissionen. Darüber hinaus wird jeweils dargestellt, welcher Anteil der Emissionen auf die Exportnachfrage zurückzuführen ist.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse für den Sektor Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung (NACE C24.1-3&5). Im Jahr 2018 betragen die inländischen Emissionen in diesem Sektor etwa 12 Mt CO₂, wobei die direkten Prozessemissionen mit rund 8,5 Mt CO₂ den größten Anteil ausmachen. Die in Importen enthaltenen Emissionen beliefen sich insgesamt auf rund 4,5 Mt CO₂. Diese Emissionen resultieren hauptsächlich aus den direkt vom Sektor importierten Gütern, insbesondere Metallerzeugnissen (C24, 2,6 Mt) und Erzen (B7, 515 kt). Insgesamt summieren sich die kumulierten Emissionen des Sektors Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung auf etwa 16,5 Mt CO₂. Der Großteil dieser Emissionen (10,8 Mt CO₂) ist exportbedingt, d.h. durch die Nachfrage nach den produzierten Gütern in anderen Ländern bedingt. Davon sind 7,9 Mt CO₂ im Inland und 2,9 Mt CO₂ im Ausland entstanden. Die hohen import- und exportbedingten Emissionen verdeutlichen die starke internationale Verflechtung des Sektors. Diese Verbindungen unterstreichen die Bedeutung globaler Lieferketten und den Einfluss internationaler Handelsbeziehungen für die Emissionen.

Abbildung 2. Kumulierte Emissionen des Sektors Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung (2018)



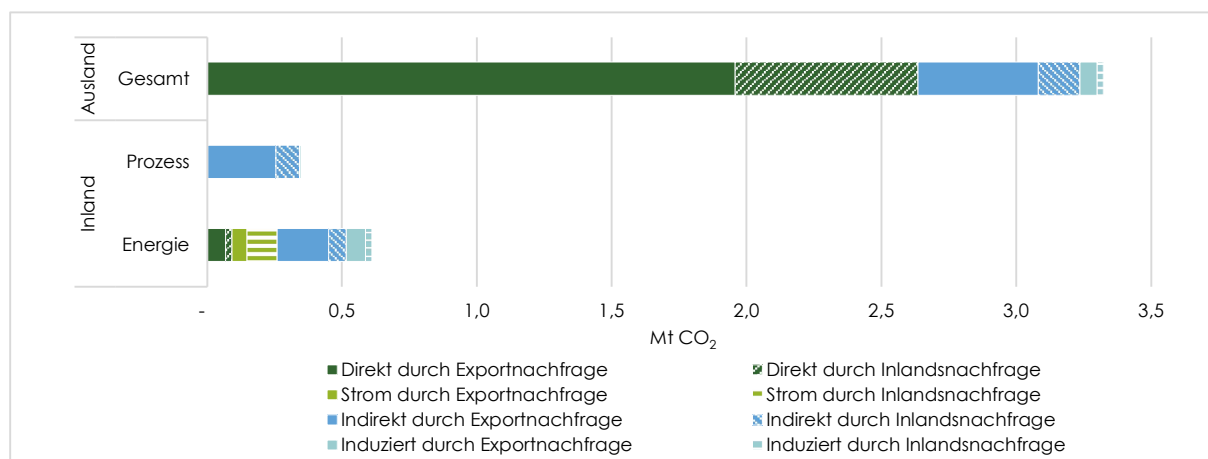
Quelle: WIFO-Berechnungen.

Die kumulierten Emissionen des Sektors Herstellung von Kraftwagen und -teilen (NACE C29) sind in Abbildung 3 dargestellt. Im Jahr 2018 betragen die inländischen Emissionen dieses Sektors

¹⁷ Sonstige Vorleistungen umfassen auch Transportvorleistungen im Inland und die Emissionen daraus.

etwa 1 Mt CO₂, wobei der Großteil auf den Energieverbrauch für die Verarbeitung von Vorprodukten zurückzuführen ist. Die importierten Emissionen beliefen sich auf rund 3,3 Mt CO₂, die hauptsächlich im Import von Kraftwagen und -teilen (C29, 921 kt), aber auch im Import von Metallzeugnissen (C24, 669 kt) und Maschinen (C28, 595 kt) enthalten waren. Insgesamt summieren sich die kumulierten Emissionen des Sektors auf etwa 4,3 Mt CO₂, wovon mehr als 70% durch den Export bedingt wurden. Auch bei diesem Sektor zeigen die hohen Import- und Exportemissionen (3,1 Mt) die starke internationale Verflechtung.

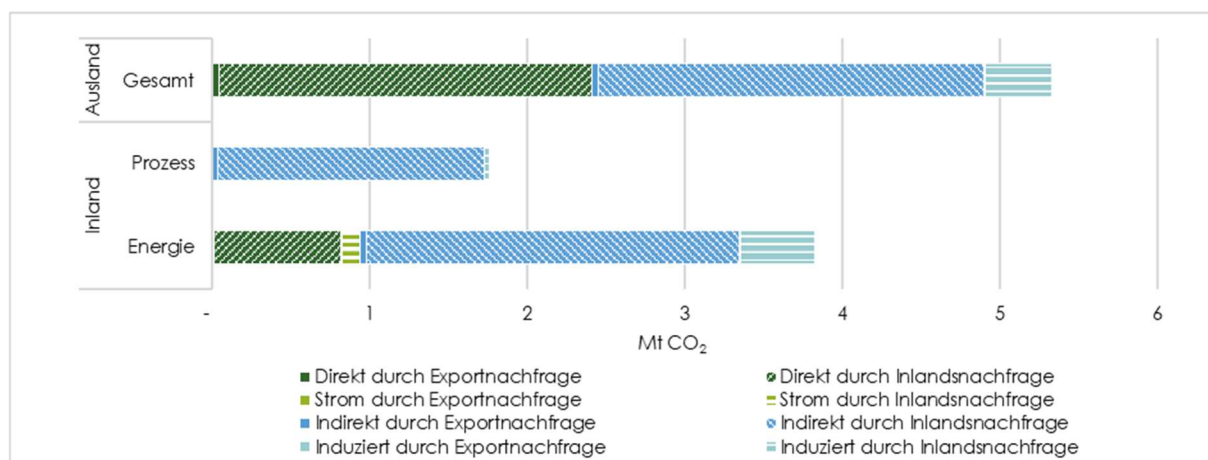
Abbildung 3. Kumulierte Emissionen des Sektors Herstellung von Kraftwagen und -teilen (2018)



Quelle: WIFO-Berechnungen.

Für den Sektor Bau (NACE F41-43) sind die Ergebnisse in Abbildung 4 dargestellt. Im Jahr 2018 betragen die inländischen Emissionen aus der Bauwirtschaft etwa 5,6 Mt CO₂, wobei der Großteil in der Erzeugung von Vorprodukten, d.h. der Herstellung von Baumaterialien (NACE C23C), anfiel. Die Emissionen in Importen beliefen sich auf rund 5,4 Mt CO₂, insbesondere bei Metallzeugnissen (C24, 958 kt), Baumaterialien und sonstige mineralische Erzeugnisse (C23, 868 kt), elektrische Ausrüstungen (C27, 388 kt) und Mineralölzeugnissen (C19B, 314 kt). Insgesamt summierten sich die kumulierten Emissionen im Jahr 2018 auf etwa 10,9 Mt CO₂. Die importierten Emissionen des Sektors liegen damit nur leicht unter den inländischen Emissionen. Die exportbedingten Emissionen waren hingegen mit etwa 0,2 Mt CO₂ vernachlässigbar.

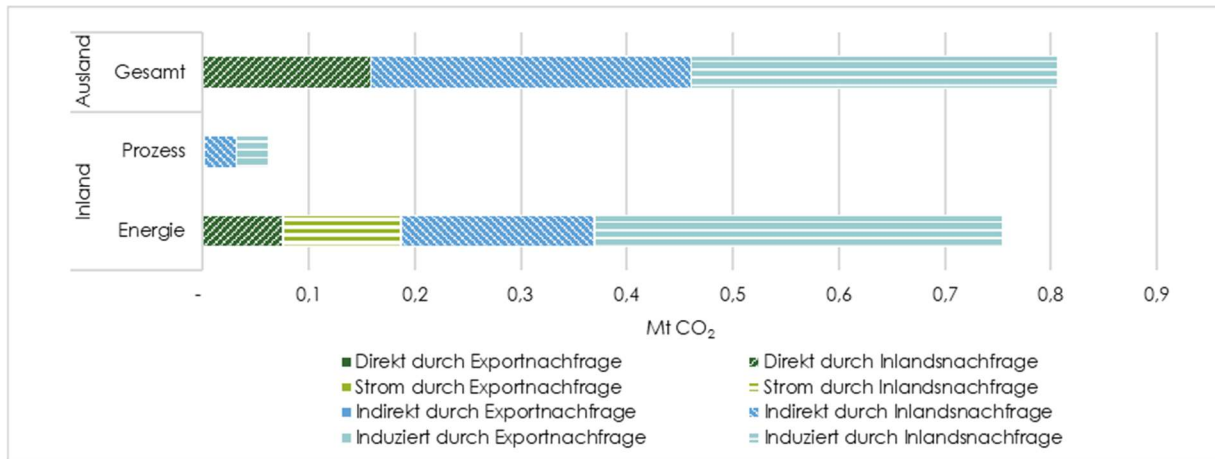
Abbildung 4. Kumulierte Emissionen des Sektors Bau (2018)



Quelle: WIFO-Berechnungen.

Im Jahr 2018 betragen die inländischen Emissionen des Sektors Erziehung und Unterricht (NACE P85) etwa 816 kt CO₂ (Abbildung 5). Ein Großteil der Emissionen ist auf die Nutzung von Energie (insbesondere fürs Heizen) zurückzuführen, hauptsächlich verursacht durch Gasheizungen sowie den Bedarf an Fernwärme und Strom; Emissionen aus der Errichtung von Gebäuden sind im Sektor Bauwesen erfasst. Der induzierte Anteil dieser Emissionen ist aufgrund der sektoralen Lohnintensität höher als in anderen Sektoren, da in DEIO Lohnänderungen einen Anstieg im privaten Konsum induzieren, knapp die Hälfte der gesamten kumulierten Emissionen (763 kt) entfallen auf diese Kategorie. Daher sind Veränderungen in lohnintensiven Sektoren besonders relevant. Anstiege von Betriebsgewinnen in kapitalintensiven Sektoren induzieren in dieser Version von DEIO keine weitere Nachfrage wie beispielsweise Investitionen. Die Emissionen in Importen beliefen sich auf rund 805 kt CO₂, die insbesondere durch den Import von Erdölprodukten (C19B) mit 116 kt CO₂, sowie von Erdöl (B6A) und Erdgas (B6B) mit je rund 60 bzw. 80 kt CO₂ ausgelöst wurden. Insgesamt beliefen sich die kumulierten Emissionen des Sektors auf etwa 1,6 Mt CO₂. Die exportbedingten Emissionen waren vernachlässigbar.

Abbildung 5. Kumulierte Emissionen des Sektors Erziehung und Unterricht (2018)



Quelle: WIFO-Berechnungen.

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

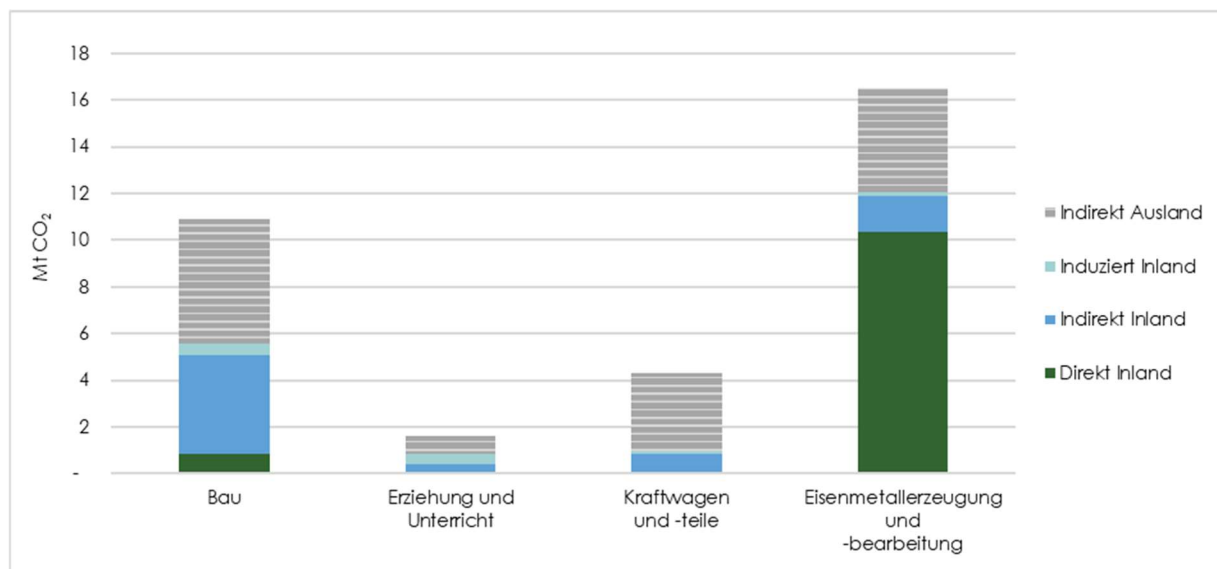
Im Rahmen dieser Studie wurden die kumulierten Treibhausgasemissionen ausgewählter österreichischer Gütergruppen bzw. Sektoren entlang ihrer Wertschöpfungsketten abgeschätzt. Dabei wurden neben den direkt bei der Produktion anfallenden Treibhausgasemissionen auch die vorleistungsbezogenen Emissionen ("embedded emissions") im In- und Ausland berücksichtigt.

Die Ergebnisse zu den kumulierten Emissionen der vier Sektoren werden in Abbildung 6 und Tabelle 1 vergleichend gegenübergestellt. Im Gegensatz zu den Darstellungen in Abschnitt 0 erfolgt dabei keine Unterscheidung zwischen Export und durch die Inländische Nachfrage bedingte Emissionen. Im Vergleich unterscheiden sich die kumulierten Emissionen der vier Sektoren sowohl in Hinblick auf das Niveau als auch auf die Zusammensetzung deutlich. Der Sektor Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung (NACE C24.1-3&5) wies 2018 mit 16,5 Mt CO₂ die höchsten kumulierten Emissionen auf, gefolgt vom Bausektor (NACE F41-43) mit 10,9 Mt CO₂; in den Sektoren Herstellung von Kraftwagen und -teilen (NACE C29) bzw. Erziehung und Unterricht (NACE P85) fielen kumulierte Emissionen von 4,3 bzw. 1,6 Mt CO₂ an.

Die Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung sticht auch in Hinblick auf die Zusammensetzung der kumulierten Emissionen hervor: Hier lag der Anteil der direkten Emissionen im Jahr 2018 bei 63%, während die Anteile in den übrigen Sektoren zwischen 2% (Herstellung von Kraftwagen und -teilen) und 8% (Bau) betragen. Demgegenüber wies der Bausektor den höchsten Anteil der indirekten inländischen Emissionen (39%) auf; bei der Herstellung von Kraftwagen und -teilen sowie Erziehung und Unterricht zeichneten die indirekten inländischen Emissionen für rund 20% der kumulierten Emissionen verantwortlich, im Sektor Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung für lediglich 10%. Im Sektor Erziehung und Unterricht zeichneten die energiebedingten Emissionen für mehr als 90% der inländischen Emissionen verantwortlich, in den Kfz- und Bausektoren für je rund zwei Drittel. Nur in der Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung spielten die energiebedingten Emissionen mit einem Anteil von weniger als einem Viertel eine untergeordnete Rolle bei den inländischen Emissionen. Das zeigt die unterschiedlichen Potentiale für Emissionsreduktionen durch einen Shift zu erneuerbaren Energieträgern in den einzelnen Sektoren auf.

Mit Ausnahme vom Sektor Erziehung und Unterricht, in dem der Anteil der induzierten Emissionen 2018 rund 27% betrug, ist diese Emissionskategorie mit 1% bis 5% der kumulierten Emissionen nur von untergeordneter Bedeutung. Auch der Anteil der importierten Emissionen unterschied sich zwischen den vier Sektoren stark: Im Kfz-Sektor lag er bei rund drei Vierteln, in den Sektoren Bau und Erziehung und Unterricht jeweils bei knapp 50% und in der Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung bei rund einem Viertel.

Abbildung 6. Kumulierte Emissionen nach Sektor und Emissionskategorie



Quelle: WIFO-Berechnungen.

Tabelle 1. Kumulierte Emissionen nach Sektor und Emissionskategorie

kt CO ₂	Direkt Inland	Indirekt Inland	Induziert Inland	Indirekt Ausland	Gesamt
Bau	825	4.243	517	5.329	10.914
Erziehung & Unterricht	76	324	416	807	1.623
Kraftwagen	95	765	103	3.323	4.285
Eisenmetall	10.370	1.532	143	4.482	16.527

Quelle: WIFO-Berechnungen.

Bezüglich des Anteils der exportbedingten Emissionen unterschieden sich die Sektoren beträchtlich. Während Exporte als Treiber der Emissionen im Bauwesen und im Sektor Erziehung und Unterricht kaum eine Rolle spielten, zeichneten sie bei der Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung für rund zwei Drittel der kumulierten Emissionen und bei der Herstellung von Kraftwagen und -teilen für ca. 74% verantwortlich. Diese Unterschiede verdeutlichen, dass nachfrage-seitige Maßnahmen für diese beiden Sektoren in Bezug auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen nur ein begrenztes Potential haben.

Die Analyse unterstreicht die große Relevanz internationaler Handelsverflechtungen für die Entstehung von Treibhausgasemissionen, und die sektoralen Unterschiede in den Emissionskategorien. So gibt es einerseits Sektoren, in denen die heimische Nachfrage die Gesamtemissionen maßgeblich bestimmt (wie die Sektoren Bauwesen sowie Erziehung und Unterricht), und andererseits Sektoren, wo sowohl der importierte Anteil der Emissionen als auch die Exportnachfrage eine zentrale Rolle spielen (wie in der Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung). Besonders in Hinblick auf letztere Sektoren ist eine globale Klimapolitik bzw. internationale Bepreisung von Treibhausgasemissionen erforderlich, um die Klimaziele zu erreichen.

Literatur

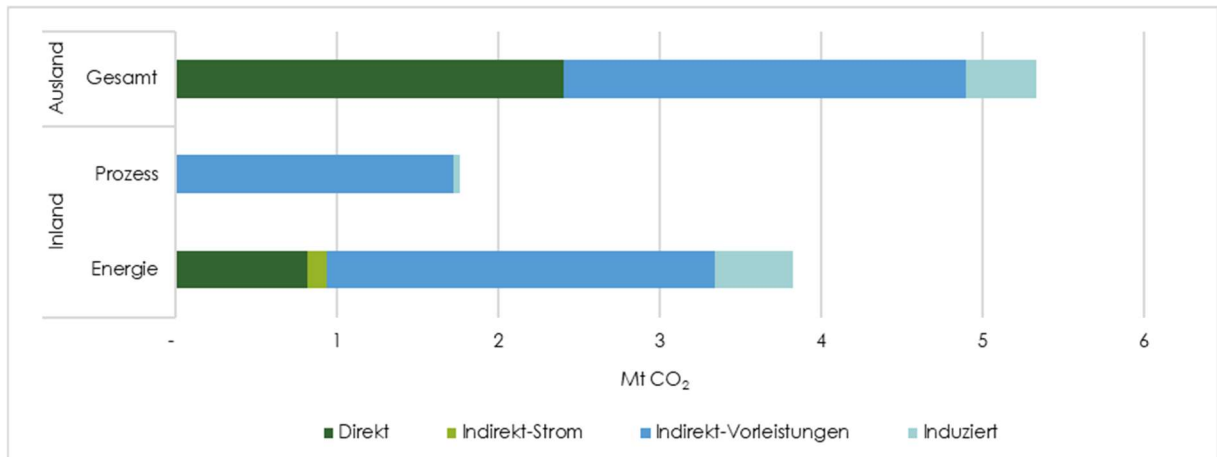
- Bhattacharya, M., Inekwe, J.N., Sadorsky, P., 2020. Consumption-based and territory-based carbon emissions intensity: Determinants and forecasting using club convergence across countries. *Energy Economics* 86, 104632. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104632>
- Davis, S.J., Caldeira, K., 2010. Consumption-based accounting of CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 5687–5692. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906974107>
- de Boer, B.F., Rodrigues, J.F.D., Tukker, A., 2019. Modeling reductions in the environmental footprints embodied in European Union's imports through source shifting. *Ecological Economics* 164, 106300. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.012>
- Franzen, A., Mader, S., 2018. Consumption-based versus production-based accounting of CO₂ emissions: Is there evidence for carbon leakage? *Environmental Science & Policy* 84, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.02.009>
- Gallego, B., Lenzen, M., 2005. A consistent input–output formulation of shared producer and consumer responsibility. *Economic Systems Research* 17, 365–391. <https://doi.org/10.1080/09535310500283492>
- Grubb, M., Jordan, N.D., Hertwich, E., Neuhoff, K., Das, K., Bandyopadhyay, K.R., Asselt, H. van, Sato, M., Wang, R., Pizer, W.A., Oh, H., 2022. Carbon Leakage, Consumption, and Trade. *Annual Review of Environment and Resources* 47, 753–795. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-120820-053625>
- Hoxha, E., Röck, M., Truger, B., Steininger, K., Passer, A., 2020. Austrian GHG emission targets for new buildings and major renovations: an exploratory study. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 588, 032052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032052>
- Jakob, M., Steckel, J.C., Edenhofer, O., 2014. Consumption- Versus Production-Based Emission Policies. *Annual Review of Resource Economics* 6, 297–318. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100913-012342>
- Kander, A., Jiborn, M., Moran, D.D., Wiedmann, T.O., 2015. National greenhouse-gas accounting for effective climate policy on international trade. *Nature Clim Change* 5, 431–435. <https://doi.org/10.1038/nclimate2555>
- Knight, K.W., Schor, J.B., 2014. Economic Growth and Climate Change: A Cross-National Analysis of Territorial and Consumption-Based Carbon Emissions in High-Income Countries. *Sustainability* 6, 3722–3731. <https://doi.org/10.3390/su6063722>
- Kratena, K., Meyer, I., Sommer, M., 2014. Alternative Szenarien zur Entwicklung des Energieverbrauchs in Österreich. Der Einfluss der CO₂- und Energiepreise bis 2030. *WIFO-Monatsberichte* 87(6), 427–441.
- Lenzen, M., Kanemoto, K., Moran, D., Geschke, A., 2012. Mapping the Structure of the World Economy. *Environ. Sci. Technol.* 46, 8374–8381. <https://doi.org/10.1021/es300171x>
- Lenzen, M., Murray, J., 2010. Conceptualising environmental responsibility. *Ecological Economics, Special Section: Ecological Distribution Conflicts* 70, 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.04.005>
- Lenzen, M., Murray, J., Sack, F., Wiedmann, T., 2007. Shared producer and consumer responsibility — Theory and practice. *Ecological Economics* 61, 27–42. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.05.018>

- Makarov, I., Alataş, S., 2024. Production- and consumption-based emissions in carbon exporters and importers: A large panel data analysis for the EKC hypothesis. *Applied Energy* 363, 123063. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123063>
- Moran, D., Wood, R., Hertwich, E., Mattson, K., Rodriguez, J.F.D., Schanes, K., Barrett, J., 2020. Quantifying the potential for consumer-oriented policy to reduce European and foreign carbon emissions. *Climate Policy* 20, S28–S38. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1551186>
- Muñoz, P., Steininger, K.W., 2010. Austria's CO₂ responsibility and the carbon content of its international trade. *Ecological Economics* 69, 2003–2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.017>
- Muñoz, P., Zwick, S., Mirzabaev, A., 2020. The Impact of Urbanization on Austria's Carbon Footprint. *Journal of Cleaner Production* 263, 121326. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121326>
- Nabernegg, S., Bednar-Friedl, B., Muñoz, P., Titz, M., Vogel, J., 2019. National Policies for Global Emission Reductions: Effectiveness of Carbon Emission Reductions in International Supply Chains. *Ecological Economics* 158, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.006>
- Peters, G.P., Marland, G., Le Quere, C., Boden, T.A., Canadell, J., Raupach, M., 2011. Rapid growth in CO₂ emissions after the 2008-2009 global financial crisis. *Nature Climate Change* 2. <https://doi.org/10.1038/nclimate1332>
- Pollitt, H., Neuhoﬀ, K., Lin, X., 2020. The impact of implementing a consumption charge on carbon-intensive materials in Europe. *Climate Policy* 20, S74–S89. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1605969>
- Rocco, M.V., Golinucci, N., Ronco, S.M., Colombo, E., 2020. Fighting carbon leakage through consumption-based carbon emissions policies: Empirical analysis based on the World Trade Model with Bilateral Trades. *Applied Energy* 274, 115301. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115301>
- Rodrigues, J., Domingos, T., Giljum, S., Schneider, F., 2006. Designing an indicator of environmental responsibility. *Ecological Economics* 59, 256–266. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.10.002>
- Rüdele, K., Wolf, M., 2023. Identification and Reduction of Product Carbon Footprints: Case Studies from the Austrian Automotive Supplier Industry. *Sustainability* 15, 14911. <https://doi.org/10.3390/su152014911>
- Sommer, M., Kratena, K., 2020. Consumption and production-based CO₂ pricing policies: macroeconomic trade-offs and carbon leakage. *Economic Systems Research* 32, 29–57. <https://doi.org/10.1080/09535314.2019.1612736>
- Statistik Austria, 2024. Luftemissionsrechnung. Statistik Austria, Wien.
- Steininger, K.W., Lininger, C., Meyer, L.H., Muñoz, P., Schinko, T., 2016. Multiple carbon accounting to support just and effective climate policies. *Nature Clim Change* 6, 35–41. <https://doi.org/10.1038/nclimate2867>
- Steininger, K.W., Munoz, P., Karstensen, J., Peters, G.P., Strohmaier, R., Velázquez, E., 2018. Austria's consumption-based greenhouse gas emissions: Identifying sectoral sources and destinations. *Global Environmental Change* 48, 226–242. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.011>

- Theine, H., Humer, S., Moser, M., Schnetzer, M., 2022. Emissions inequality: Disparities in income, expenditure, and the carbon footprint in Austria. *Ecological Economics* 197, 107435. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107435>
- Truger, B., Nabernegg, S., Lackner, T., Röck, M., Alaux, N., Hoxha, E., Saade, M.R.M., Passer, A., 2022. Life cycle GHG emissions of the Austrian building stock: A combined bottom-up and top-down approach. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1078, 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012024>
- Tukker, A., Pollitt, H., Henkemans, M., 2020. Consumption-based carbon accounting: sense and sensibility. *Climate Policy* 20, S1–S13. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1728208>
- Umweltbundesamt, 2023. Klimaschutzbericht 2023 (No. Umweltbundesamt Reports, Band 0871). Wien.
- Wiedmann, T., 2009. A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics, Special Section: Analyzing the global human appropriation of net primary production - processes, trajectories, implications* 69, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.08.026>
- Windsperger, B., Windsperger, A., Bird, D.N., Schwaiger, H., Jungmeier, G., Nathani, C., Frischknecht, R., 2020. Greenhouse gas emissions of the production chain behind consumption of products in Austria: Development and application of a product- and technology-specific approach. *J of Industrial Ecology* 24, 653–664. <https://doi.org/10.1111/jiec.12961>
- Windsperger, B., Windsperger, A., Bird, D.N., Schwaiger, H., Jungmeier, G., Nathani, C., Frischknecht, R., 2019. Greenhouse gas emissions due to national product consumption: from demand and research gaps to addressing key challenges. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16, 1025–1038. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1743-6>
- Wood, R., Neuhoff, K., Moran, D., Simas, M., Grubb, M., Stadler, K., 2020. The structure, drivers and policy implications of the European carbon footprint. *Climate Policy* 20, S39–S57. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1639489>

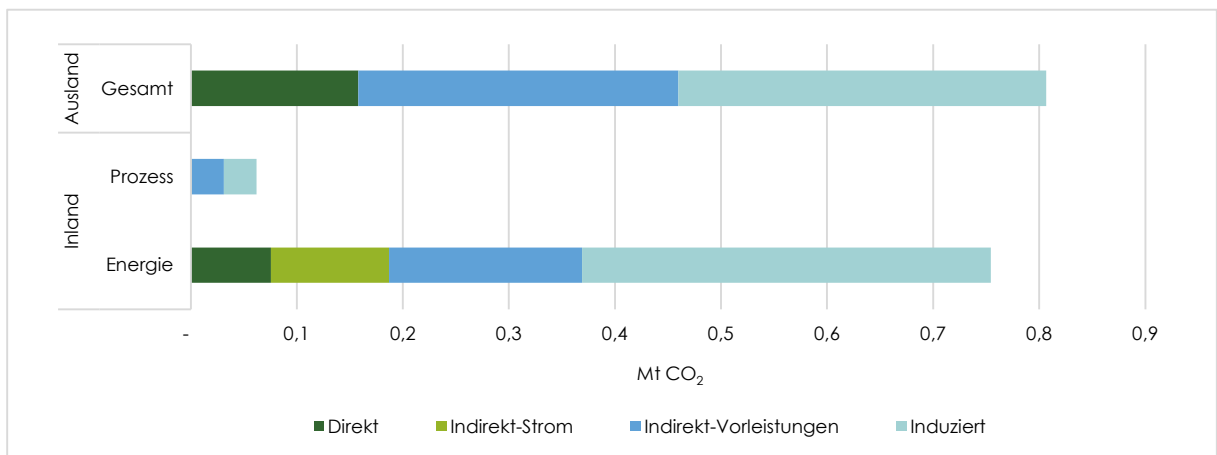
Appendix

Abbildung A 1: Kumulierte Emissionen des Sektors Baudienstleistungen (2018)



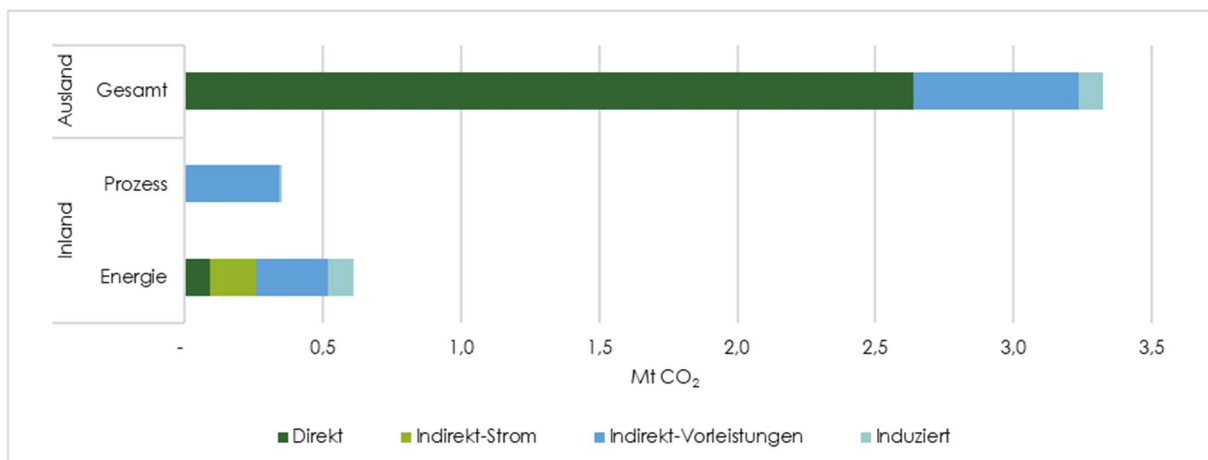
Quelle: WIFO-Berechnungen.

Abbildung A 2: Kumulierte Emissionen des Sektors Erziehung und Unterricht (2018)



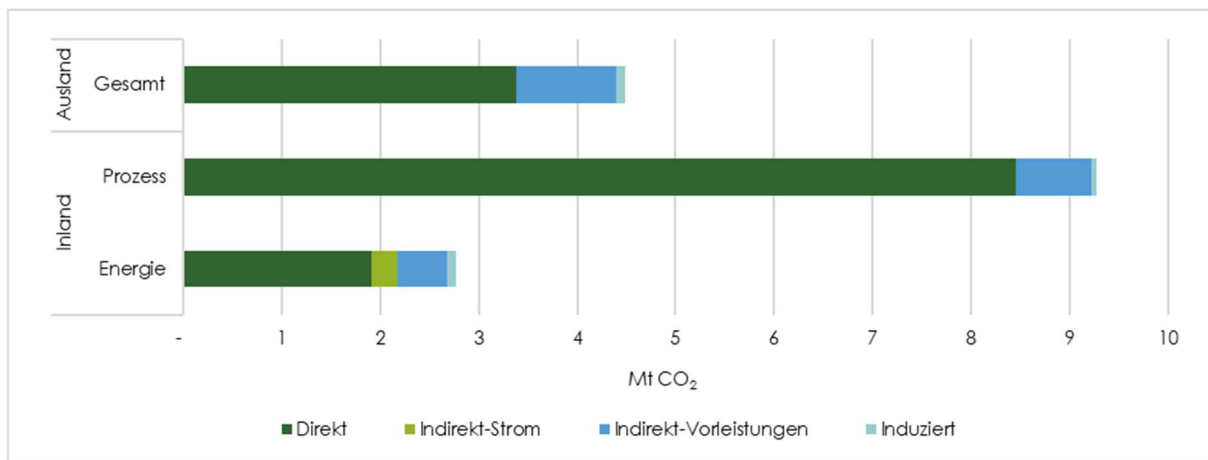
Quelle: WIFO-Berechnungen.

Abbildung A 3: Kumulierte Emissionen des Sektors Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (2018)



Quelle: WIFO-Berechnungen.

Abbildung A 4: Kumulierte Emissionen des Sektors Eisenmetallerzeugung und -bearbeitung (2018)



Quelle: WIFO-Berechnungen.

Tabelle A 1: Tabelle: Produktionswert und sektorale Emissionen 2018 (ohne Haushalte)

			AEA	ICIO				AEA	ICIO
			CO ₂ Emissionen	Produktionswert				CO ₂ Emissionen	Produktionswert
			† CO ₂	Mio. USD				† CO ₂	Mio. USD
1	ARG	Argentina	N.V.	838.227	40	KAZ	Kazakhstan	294.993.973	596.180
2	AUS	Australia	N.V.	2.647.329	41	KHM	Cambodia	N.V.	42.447
3	AUT	Austria	45.170.349	851.031	42	KOR	Korea	N.V.	3.823.408
4	BEL	Belgium	73.370.207	1.123.493	43	LAO	Lao (People's Democratic Republic)	N.V.	26.767
5	BGD	Bangladesh	N.V.	502.713	44	LTU	Lithuania	14.105.527	95.739
6	BGR	Bulgaria	42.502.212	135.640	45	LUX	Luxembourg	7.593.714	242.625
7	BLR	Belarus	N.V.	117.738	46	LVA	Latvia	7.796.193	64.004
8	BRA	Brazil	N.V.	3.287.331	47	MAR	Morocco	N.V.	215.065
9	BRN	Brunei Darussalam	N.V.	25.832	48	MEX	Mexico	N.V.	2.073.347
10	CAN	Canada	N.V.	3.034.489	49	MLT	Malta	1.528.502	39.803
11	CHE	Switzerland	26.261.368	1.513.471	50	MMR	Myanmar	N.V.	167.110
12	CHL	Chile	N.V.	516.280	51	MYS	Malaysia	N.V.	885.947
13	CHN	China (People's Republic)*	8.985.047.662	34.610.331	52	NGA	Nigeria	N.V.	735.748
14	CIV	Côte d'Ivoire	N.V.	90.355	53	NLD	Netherlands	147.342.769	1.791.224
15	CMR	Cameroon	N.V.	55.283	54	NOR	Norway	57.633.699	726.781
16	COL	Colombia	103.372.881	586.441	55	NZL	New Zealand	29.964.225	405.243
17	CRI	Costa Rica	4.477.101	97.920	56	PAK	Pakistan	N.V.	580.824
18	CYP	Cyprus (1)	5.868.105	47.675	57	PER	Peru	N.V.	379.578
19	CZE	Czechia	85.944.645	565.464	58	PHL	Philippines	N.V.	631.624
20	DEU	Germany	636.755.805	7.389.599	59	POL	Poland	299.198.832	1.197.002
21	DNK	Denmark	69.930.355	631.661	60	PRT	Portugal	46.156.848	430.503
22	EGY	Egypt	N.V.	420.353	61	ROU	Romania	65.453.285	455.856
23	ESP	Spain	209.187.718	2.546.993	62	RUS	Russian Federation	1.367.287.254	2.971.270
24	EST	Estonia	17.919.052	60.857	63	SAU	Saudi Arabia	N.V.	1.166.218
25	FIN	Finland	43.599.962	515.144	64	SEN	Senegal	N.V.	37.587
26	FRA	France	257.081.633	4.959.355	65	SGP	Singapore	N.V.	948.650
27	GBR	United Kingdom	337.873.000	4.952.705	66	SVK	Slovakia	30.294.992	245.327
28	GRC	Greece	73.491.568	349.551	67	SVN	Slovenia	10.866.943	104.960
29	HKG	Hong Kong, China	N.V.	658.068	68	SWE	Sweden	37.305.338	1.025.627
30	HRV	Croatia	12.727.234	104.206	69	THA	Thailand	N.V.	1.115.971
31	HUN	Hungary	39.850.664	315.732	70	TUN	Tunisia	N.V.	70.414
32	IDN	Indonesia	541.583.214	1.908.581	71	TUR	Türkiye	333.461.302	1.499.677
33	IND	India	N.V.	4.921.477	72	TWN	Chinese Taipei	N.V.	1.291.829
34	IRL	Ireland	42.403.124	754.906	73	UKR	Ukraine	198.119.646	275.490
35	ISL	Iceland	7.157.278	47.969	74	USA	United States	4.535.291.755	35.723.719
36	ISR	Israel (2)	N.V.	599.977	75	VNM	Viet Nam	N.V.	788.701
37	ITA	Italy	255.791.030	3.975.521	76	ZAF	South Africa	N.V.	791.753
38	JOR	Jordan	N.V.	77.419	77	ROW	Rest of the World	N.V.	9.891.678
39	JPN	Japan	N.V.	8.831.006					

Quelle: OECD Data Explorer (Air Emissions Accounts) und OECD Datasets (Inter-Country- Input-Output-Tables). N.V. = nicht verfügbar.

* Die Emissionen der Volksrepublik China wurden aus den Daten der Internationalen Energieagentur (IEA) entnommen (<https://www.iea.org/countries/china/emissions>).