



Berechnung des Treibhausgas-Fussabdrucks der Schweiz

Methodenbericht

1. Auflage

Auskunft:

Sektion Umwelt, Nachhaltige Entwicklung, Raum
Tel.: +41 58 463 66 12
E-Mail: umwelt@bfs.admin.ch

Autor:

Sandro Blumer, BFS

Sprache:

Diese Publikation ist nur auf Deutsch erhältlich.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1. Einführung.....	4
2. Daten.....	6
3. Methode.....	7
3.1 « <i>Environmentally Extended Input Output</i> »-Analyse.....	7
3.2 Gewichtung der importbedingten Emissionen.....	8
4. Weitere Berechnungsmethoden.....	11

1. Einführung

Mit dem statistischen Konzept des Treibhausgas-Fussabdrucks (THGFA) werden die Treibhausgasemissionen ermittelt, die durch die Schweizer Endnachfrage¹ nach Gütern und Dienstleistungen gesamthaft entstehen. Der THGFA kann somit als ein Indikator für die globale Klimabelastung durch die Schweizer Bevölkerung betrachtet werden.

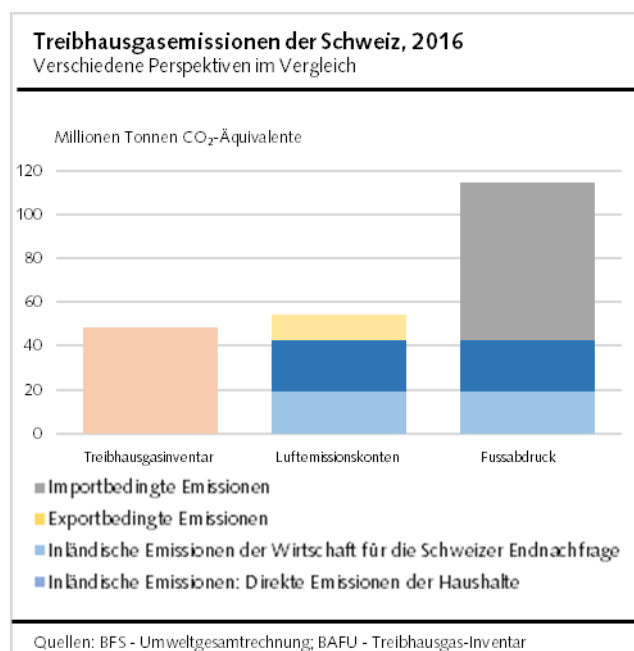


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten gemäss dem Treibhausgasinventar (linke Säule), Aufteilung der Treibhausgasemissionen gemäss den Luftemissionskonten (mittlere Säule) und Emissionskategorien des THGFA (rechte Säule).

Im Treibhausgasinventar² (Abbildung 1 - linke Säule), das vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) im Rahmen der Umsetzung des Kyoto-Protokolls erstellt wird, werden die Treibhausgasemissionen prozessorientiert und nach dem Territorialitätsprinzip erfasst: Es handelt sich um Emissionen, die in der Schweiz anfallen, unabhängig davon, ob die verursachende Person oder Unternehmung in der Schweiz gebietsansässig ist.

Basierend auf dem Treibhausgasinventar erstellt das BFS die Luftemissionskonten (AEA für Air Emission Accounts³, Abbildung 1 – mittlere Säule) im Rahmen der Umweltgesamtrechnung. Dabei gilt das sogenannte Residenzprinzip: Es werden die Treibhausgasemissionen der gebietsansässigen Personen oder Unternehmungen betrachtet. Dies hat zum Beispiel zur Folge, dass die Emissionen der Schweizer Strassengüterfahrzeuge auch dann der Schweiz angerechnet werden, wenn sie im Ausland entstanden sind. Des Weiteren sind sämtliche Emissionen von Schweizer Fluggesellschaften ebenfalls enthalten. In der Schweiz sind die Emissionen der gebietsansässigen Einheiten höher als diejenigen der gebietsfremden und die Summe der AEA daher normalerweise auch grösser als das Total des Treibhausgasinventars⁴.

Im Gegensatz zum Treibhausgasinventar und den AEA werden beim THGFA auch die im Ausland aufgrund der Schweizer Endnachfrage entstandenen Treibhausgasemissionen angerechnet. Und zwar werden die Emissionen demjenigen Land zugewiesen, in dem die Nachfrage befriedigt wird. Da die Schweizer Wirtschaft stark vom Aussenhandel geprägt ist, besteht in der Schweiz ein bedeutender Unterschied zwischen dem Treibhausgasinventar und den AEA auf der einen und dem THGFA auf der anderen Seite (Abbildung 1, rechte Säule). Die Emissionen des THGFA können in folgende Kategorien unterteilt werden:

¹ Summe der Ausgaben der privaten Haushalte und des Staates für den Endverbrauch, sowie der Bruttoanlageinvestitionen.

² <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/daten-indikatoren-karten/daten/treibhausgasinventar.html>

³ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltgesamtrechnung/luftemissionen.html>

⁴ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltgesamtrechnung/luftemissionen.assetdetail.6126983.html>

- **Inländische Emissionen der Haushalte:** Von den Schweizer Haushalten direkt emittierte Treibhausgase, die vor allem durch den Privatverkehr und das Heizen entstehen.
- **Inländische Emissionen der Wirtschaft für die Schweizer Endnachfrage:** Treibhausgasemissionen, die in der Schweizer Wirtschaft durch die Herstellung von Gütern und das Erbringen von Dienstleistungen entstehen, wobei die Endnachfrage nach diesen Gütern und Dienstleistungen ebenfalls in der Schweiz besteht. Emissionen, die bei der Herstellung von Exporten entstehen (**exportbedingte Emissionen**), werden hingegen nicht dem Schweizer THGFA angerechnet, da die Endnachfrage nach diesen Gütern und Dienstleistungen im Ausland besteht.
- **Importbedingte Emissionen:** Diese entstehen im Ausland bei der Herstellung von Gütern und das Erbringen von Dienstleistungen, die in die Schweiz importiert und für die Befriedigung der Schweizer Endnachfrage eingesetzt werden. Oftmals werden die importbedingten Emissionen als «graue» oder «versteckte» Emissionen bezeichnet.

2. Daten

Die folgenden Datensätze wurden in der aktuellen Berechnung des THGFA verwendet:

- BFS (2018): Symmetrische Input-Output-Tabelle der Schweiz 2014⁵.
- BFS (2018): Luftemissionskonten der Haushalte und der Wirtschaft. In der Berechnung sind die Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und die synthetischen Gase (HFC, PFC und SF₆ und NF₃) berücksichtigt.
- Eurostat (2018): Exporte des Wirtschaftsraums EU28 gemäss der entsprechenden symmetrischen Input-Output Tabelle. Produkt *naio_10_cp1700*.
- Eurostat (2018): Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC und SF₆ und NF₃), die in den Exporten des Wirtschaftsraums EU28 enthalten sind. Gemäss der THGFA Berechnung von Eurostat. Produkt *env_ac_io10*.
- OECD/IEA (2018): «CO₂ Emissions from Fuel Combustion (2018 Edition)». Verhältnis aus den gesamten CO₂-Emissionen und dem Bruttoinlandprodukt (BIP) von verschiedenen Wirtschaftsregionen.

⁵ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/volkswirtschaft/input-output.html>

3. Methode

3.1 «Environmentally Extended Input Output»-Analyse

Für die Berechnung des THGFA existieren verschiedene Ansätze (siehe Kapitel 4). Die verwendete Methode beruht auf der sogenannten «*Environmentally Extended Input-Output*»-Analyse, wobei die AEA der Umweltgesamtrechnung und die Input-Output-Tabellen (IOT) der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) die Hauptdatengrundlage bilden (siehe Kapitel 2). Bei den IOT handelt es sich um Tabellen, die einer detaillierten Beschreibung des Kreislaufs der Güter und Dienstleistungen der Schweizer Volkswirtschaft dienen. Anhand der AEA werden die Treibhausgasemissionen nach Produktionsbereichen erfasst, wobei die AEA auf denselben Grundsätzen wie die VGR beruhen.

Die Berechnung basiert auf der sogenannten *Leontief-type Modelling*⁶. Hierbei handelt es sich um ein mathematisches Verfahren, welches die ökonomischen Verflechtungen der IOT und die Emissionen gemäss den AEA der Endnachfrage zuweist. Die *Leontief-type Modelling* bildet die Grundlage für die in Kapitel 3.2 beschriebenen Gewichtungen und kann in fünf Schritte zusammengefasst werden:

1. Schritt: Input Coefficients I_{Input}

Der Vektor der *Input Coefficients* ergibt sich aus der Division der Treibhausgasemissionen einer Produktgruppe nach CPA⁷ (aus den AEA) und der Gesamtverwendung (GV) zu Herstellungspreisen derselben Produktgruppe (aus der IOT).

$$I_{Input} := \frac{E_j}{GV_j}, \text{ wobei die Dimension von } I_{Input} \text{ der Anzahl Produktgruppen } n \text{ entspricht.}$$

E_j : Emissionen der Produktgruppe j nach CPA

GV_j : Gesamtverwendung zu Herstellungspreisen der Produktgruppe j nach CPA

2. Schritt: Input Coefficient Matrix ICM

Diese Matrix beruht auf den IOT und beinhaltet die Anteile der verschiedenen Produktgruppen an ihrer Gesamtverwendung:

$$ICM := \begin{pmatrix} in_{1,1}/GV_1 & \cdots & in_{1,n}/GV_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ in_{n,1}/GV_1 & \cdots & in_{n,n}/GV_n \end{pmatrix}$$

$in_{i,j}$: Input der Produktgruppe i nach CPA für die homogene Branche j

GV_j : Gesamtverwendung zu Herstellungspreisen der Produktgruppe j nach CPA

3. Schritt: Leontief Inverse Matrix L

Bei der *Leontief Inverse Matrix L* handelt es sich um die zentrale Matrix dieser Berechnung. Sie wird durch die Inverse der Differenz aus der Einheitsmatrix und der ICM bestimmt:

$$L = (I - ICM)^{-1}$$

I : Einheitsmatrix

⁶ <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191529/eeSUIOT-TechDoc-final-060411.pdf/96a44595-c00d-4e05-914f-396ec27687b9>

⁷ CPA, Classification of Products by Activity. Die CPA ist eine Güterklassifikation, deren Positionen den Wirtschaftszweigen, in denen die Güter produziert werden, d. h. den Positionen der NACE Rev. 2 ([https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Statistical_classification_of_products_by_activity_\(CPA\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Statistical_classification_of_products_by_activity_(CPA)))

4. Schritt: Total Intensity Vektor I_{Total}

Dieser Vektor ergibt sich aus der Multiplikation der *Input Coefficients* und der *Leontief Inverse Matrix*:

$$I_{Total} = I_{Input} L$$

Im Gegensatz zu den *Input Coefficients* beschreibt der *Total Intensity Vector*⁸ die gesamthaft anfallenden Treibhausgasemissionen, die nötig sind um die Güter und Dienstleistungen der Endnachfrage zu generieren.

5. Schritt: Berechnung des THGFA:

Die Emissionen der Wirtschaft für die Schweizer Endnachfrage *THGFA'* (ohne die direkten Emissionen der Haushalte) ergeben sich nun aus dem Skalarprodukt zwischen dem *Total Intensity Vector* I_{Total} und dem Vektor der Endnachfrage ohne Exporte y :

$$THGFA' = < I_{Total}, y >$$

$$y = \text{Total Endnachfrage zu Herstellungspreisen} - \text{Exporte}$$

Für den endgültigen Fussabdruck werden die direkten Emissionen der Haushalte gemäss den AEA zum THGFA' addiert:

$$THGFA = THGFA' + \text{Direkte Emissionen der Haushalte}^9$$

Der *Total Intensity Vector* kann ebenso auf einzelne Komponenten der Endnachfrage, wie zum Beispiel einzelne Ausgabeposten der Haushalte (COICOP¹⁰) oder Bruttoanlageinvestitionen, angewandt werden, um deren THGFA zu berechnen.

3.2 Gewichtung der importbedingten Emissionen

Eine direkte Implementierung des *Leontief-type Modelling* Verfahrens (siehe Kapitel 3.1) basiert auf der Hypothese der sogenannten *Domestic Technology Assumption* (DTA). Dabei wird angenommen, dass für die Herstellung von importierten Gütern und Dienstleistungen im Produktionsland dieselbe Menge an Treibhausgasen freigesetzt wird, wie wenn diese in der Schweiz hergestellt würden, d.h. die Treibhausgasintensität der Importe entspricht dem Vektor der *Input Coefficients*.

Die DTA wird den Besonderheiten der Schweizer Wirtschaft nicht gerecht, weshalb die Emissionen der importierten Güter und Dienstleistungen gewichtet werden. Diese Gewichtung bezieht sich dabei auf den Vektor der *Input Coefficients*, wobei dieser anschliessend in das *Leontief-type Modelling* Verfahren einfließt. Die Gewichtung besteht aus a) einem Primärgewicht, das sich aus den exportbedingten Emissionen und den monetären Exporten aus der EU zusammensetzt, und b) diversen Sekundärgewichten, bestehend aus den gesamtwirtschaftlichen CO₂-Intensitäten und dem BIP von verschiedenen Wirtschaftsregionen ausserhalb der EU. Schliesslich werden die Primär- und Sekundärgewichte zum Gesamtgewicht (c) zusammengeführt.

⁸ Der *Total Intensity Vector* kann als Intensitätsvektor der Konsumperspektive betrachtet werden und beschreibt die während der gesamten Produktionskette anfallenden Emissionen.

⁹ Von den Haushalten direkt emittierte Treibhausgase, die hauptsächlich durch den Privatverkehr und das Heizen entstehen.

¹⁰ [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Classification_of_individual_consumption_by_purpose_\(COICOP\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Classification_of_individual_consumption_by_purpose_(COICOP))

a) Primärgewichtung: Importbedingte Emissionen aus der EU¹¹

Die europäische Statistikbehörde Eurostat berechnet für die EU den THGFA¹², ebenfalls auf Basis der «*Environmentally extended Input-Output*» Analyse und unter Annahme der DTA¹³. Aus dieser Berechnung können die Treibhausgasemissionen, die in den Exporten der EU enthalten sind, entnommen werden. Das Primärgewicht für die in die Schweiz importierten Güter und Dienstleistungen ergibt sich aus dem Verhältnis der exportbedingten Emissionen aus der EU, und den aus der EU exportierten Gütern und Dienstleistungen in Geldwerten wie folgt:

$$I_{EU} = \frac{E_{EU,Exporte,j}}{Exp_{EU,j}}$$

$E_{EU,Exporte,j}$: exportbedingte Treibhausgasemissionen EU von Produkten nach CPA j

$Exp_{EU,j}$: Exporte aus der EU (in CHF) von Produkten nach CPA j

b) Sekundärgewichtung: Importbedingte Emissionen aus verschiedenen Wirtschaftsregionen

Ungefähr zwei Drittel des Wertes aller Güterimporte in die Schweiz stammen aus der EU¹⁴. Da sich die Emissionsintensitäten in anderen Wirtschaftsregionen bedeutend unterscheiden können, fliessen gesamtwirtschaftliche CO₂-Intensitäten aufgeteilt nach Wirtschaftsregionen¹⁵ als sekundäre Gewichte wie folgt in die Berechnung ein:

$$I_{Reg,i} = \frac{E(CO_2)_i}{BIP_i}$$

i : Der Index i bezieht sich auf die Wirtschaftsregionen. Berücksichtigt wurden Afrika, Asien ohne Japan, Japan, Mittlerer Orient, Nordamerika, Ozeanien, Russland, Südamerika und EU.

$E(CO_2)_i$: gesamtwirtschaftliche CO₂-Emissionen der Region i

BIP_i : Bruttoinlandprodukt der Region i

Während sich das Primärgewicht I_{EU} aus statistischen Berechnungen zusammensetzt, die erstens nach Produktgruppen der CPA Klassierung aufgeteilt sind und zweitens von der europäischen Statistikbehörde Eurostat erstellt und aktualisiert werden, sind die Sekundärgewichte weniger zuverlässig, da verschiedene Länder und ihre Treibhausgasintensitäten zu den oben erwähnten Wirtschaftsregionen zusammengefasst und verallgemeinert werden. Insofern handelt es sich bei den Sekundärgewichten einerseits um gesamtwirtschaftliche Gewichte, sodass Eigenheiten von einzelnen Branchen in Bezug auf die Treibhausgasintensität nicht berücksichtigt werden, und andererseits verallgemeinert das BIP die Intensität, wobei die Werte der Exporte adäquater wären.

Bei den Sekundärgewichten handelt es sich um einen bestmöglichen Kompromiss zwischen der Verfügbarkeit von zuverlässigen Statistiken und der Berücksichtigung von weltweit anfallenden Treibhausgasemissionen. Im Rahmen der Weiterentwicklung der Methode können die Sekundärgewichte in Zukunft optimiert werden. Neue Entwicklungen in internationalen Luftemissionsrechnungen können in die Berechnungen integriert werden (zum Beispiel vervollständigt das Statistikbüro der OECD die Statistiken der Treibhausgasemissionen verschiedener Länder¹⁶). Ein weiterer Ansatz besteht darin, die Emissionsintensitäten weiter nach Branchen und Regionen zu verfeinern, wobei wichtige Importeure detaillierter betrachtet werden können.

¹¹ Für die Berechnung wurde jeweils der Wirtschaftsraum EU28 verwendet.

¹² https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics_-_carbon_footprints#Carbon_dioxide_emissions_associated_with_EU_consumption

¹³ Für den gesamten Wirtschaftsraum der EU handelt es sich hier um eine sinnvolle Annahme, da der Grossteil der Produktionsketten auch im EU Wirtschaftsraum integriert sind.

¹⁴ <https://www.gate.ezv.admin.ch/swissimpex/>

¹⁵ Erste Abschätzungen, dass der Fussabdruck in Bezug auf die Wahl der Wirtschaftsregionen stabil ist. Somit führt eine detailliertere Aufteilung der Sekundärgewichte nach weiteren Ländern nicht per se zu einem massgeblich anderen Resultat für den THGFA.

¹⁶ [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=SDD/DOC\(2018\)11&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=SDD/DOC(2018)11&docLanguage=En)

c) Gesamtgewichtung der importbedingten Emissionen

Im Unterschied zum Vektor I_{EU} sind die Sekundärgewichten Skalare: Da sie ein gesamtwirtschaftliches Verhältnis beschreiben, sind die CO₂-Emissionen nicht nach Wirtschaftsbranchen aufgeteilt.

Die Sekundärgewichte für die Regionen beziehen sich auf das Primärgewicht der EU:

$$\eta_i = \frac{I_{Reg_i}}{I_{EU}}$$

Schliesslich wird mit η_i der Vektor der Produktionsintensität wie folgt gewichtet:

$$I'_{input,j} = \underbrace{\frac{I_{input,j} * (GV_j - IMP_j)}{GV_j}}_{\text{Inländische Emissionen der Wirtschaft für die Schweizer Endnachfrage}} + \underbrace{\frac{I_{EU,j} * IMP_j(EU \rightarrow CH)}{GV_j}}_{\text{Importbedingte Emissionen aus der EU}} + \underbrace{\frac{\sum[\eta_i * IMP_j(Reg_i \rightarrow CH)]}{GV_j}}_{\text{Importbedingte Emissionen aus den Wirtschaftsregionen}}$$

- $I'_{input,j}$: modifizierte Produktionsintensität der Produktgruppe j nach CPA
 GV_j : Gesamtverwendung zu Herstellungspreisen gemäss IOT Produktgruppe j nach CPA
 IMP_j : Gesamtimporte gemäss IOT der Produktgruppe j nach CPA
 $IMP_j(EU \rightarrow CH)$: Anteil der Importe aus der EU28 in die Schweiz pro Produktgruppe j nach CPA
 $IMP_j(Reg_i \rightarrow CH)$: Anteil der Importe aus der Region i in die Schweiz pro Produktgruppe j nach CPA

Unterteilung des Fussabdrucks nach inländischen und importbedingten Emissionen

Der Vektor der modifizierten Produktionsintensität $I'_{input,j}$ fliesst nun, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, in die *Leontief-type Modelling* ein. Dadurch erhält man die gesamten Emissionen der Wirtschaft für die Schweizer Endnachfrage (THGFA) ohne die direkten Emissionen der Haushalte. Um die importbedingten Emissionen zu trennen, wird der Algorithmus mit dem ursprünglichen Vektor der *Input Coefficients* $I_{input,j}$ durchgeführt. Dies entspricht den inländischen Emissionen der Wirtschaft für die Schweizer Endnachfrage. Die Differenz aus den beiden Berechnungen ergibt die importbedingten Emissionen. Schliesslich werden die direkten Emissionen der Haushalte, als dritte Komponente des Fussabdrucks, zu den inländischen Emissionen der Wirtschaft für die Schweizer Endnachfrage und den importbedingten Emissionen addiert, um den endgültigen Fussabdruck (THGFA) zu berechnen.

Insgesamt kann diese Gewichtung als Weiterentwicklung der DTA betrachtet werden: Würde nur das Primärgewicht verwendet werden, entspräche dies der Annahme, dass alle importierten Güter und Dienstleistungen aus der EU stammen, resp. mit Treibhausgasintensität der Exporte aus der EU hergestellt worden wären. Die sekundären Gewichte erweitern diesen Gedanken auf eine weltweite Skala.

4. Weitere Berechnungsmethoden

Die in diesem Dokument beschriebene Methode weist einige für die Ansprüche des BFS wichtige Vorteile auf: Der THGFA kann auf die Konsum- und Ausgabeposten gemäss der IOT aufgeteilt werden, die Berechnung ist jährlich aktualisierbar und Vergleiche mit Berechnungen auf internationaler Ebene sind möglich.

Neben dem Ansatz der «*Environmentally Extended Input-Output*»-Analyse kann der Fussabdruck auch auf Basis von Ökobilanzkoeffizienten berechnet werden. Diese Methode basiert einerseits auf den inländischen Treibhausgasemissionen und summiert die Emissionen der importierten Produkte entlang deren Produktionsprozessen gesamtwirtschaftlich auf. Durch die Berechnung mit Ökobilanzkoeffizienten, können die Emissionen auf einem detaillierten Produktniveau berücksichtigt werden. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat den Treibhausgas-Fussabdruck auf diese Weise berechnen lassen¹⁷. Das Resultat ist mit der Berechnung des BFS vergleichbar (Abbildung 3).

Eine weitere Möglichkeit stellt die Berechnung des Fussabdrucks auf Basis einer multiregionalen Input-Output-Tabelle (MRIOT) dar, wie sie von der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) durchgeführt wurde. Bei der MRIOT handelt es sich um eine Modellierung internationaler Handelsbeziehungen durch die Verknüpfung der IOT mehrerer Ländern, wobei Handelsflüsse explizit dargestellt werden. Das Resultat der OECD Berechnung ist ebenfalls mit den Resultaten des BFS vergleichbar.

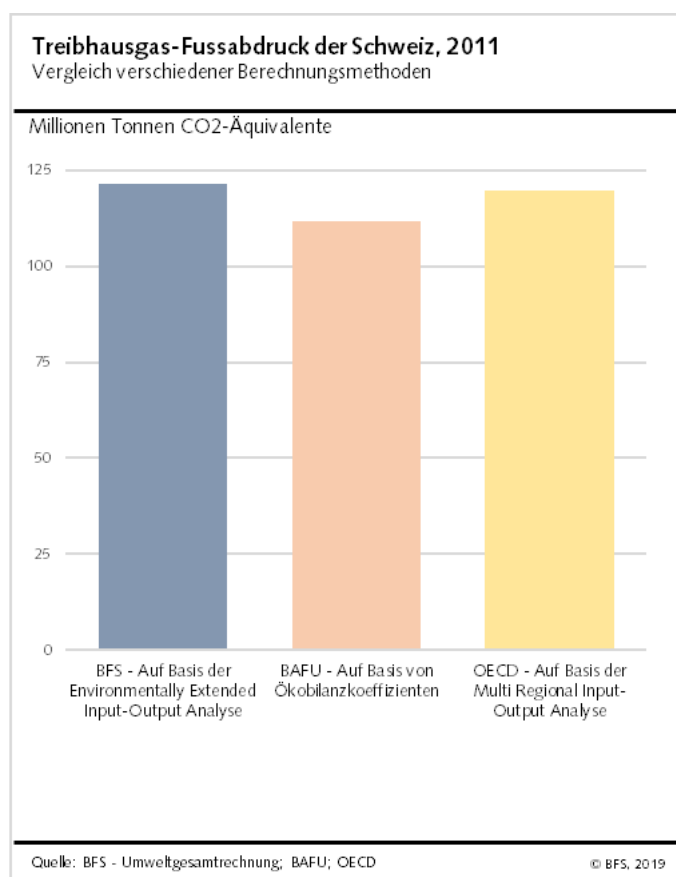


Abbildung 3: Vergleich verschiedener Berechnungsmethoden des THGFA der Schweiz für das Referenzjahr 2011. Als Treibhausgase wurden CO₂, N₂O und CH₄ berücksichtigt. Der Vergleich beruht auf dem Jahr 2011, da dieses Jahr für alle drei Berechnungen verfügbar ist.

¹⁷ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/publikationen-studien/publikationen/umwelt-fussabdruecke-der-schweiz.html>