



# Faktenblatt

April 2024

---

## Klimawirkung von Treibhausgasen und weiteren Substanzen

Nebst Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) tragen auch Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O), synthetische Treibhausgase und beim Flugverkehr zudem weitere Komponenten zur Klimaerwärmung bei. Wie aus [Abbildung 2.4](#) im 6. Sachstandsbericht des IPCC (AR6) hervorgeht, haben die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2018 rund 0.8°C, die CH<sub>4</sub>-Emissionen rund 0.5°C und die N<sub>2</sub>O-Emissionen rund 0.1°C zur bereits beobachteten globalen Erwärmung beigetragen.<sup>1</sup>

Da die Berechnung der Klimawirkung mit einem Klimamodell, wie sie für die Analyse im AR6 verwendet wurde, aufwändig ist, behilft man sich oftmals mit einer Metrik, um die einzelnen Beiträge verschiedener Gase zu vergleichen und die Gesamtwirkung aller Emissionen anzunähern. In diesem Faktenblatt beschreibt Abschnitt 1 die Metrik, welche sowohl auf nationaler wie auf internationaler Ebene im Rahmen des Übereinkommens von Paris verwendet wird. Abschnitt 2 stellt Informationen zur Klimawirkung von Methan bereit, während Abschnitt 3 auf die Klimawirkung der Flugverkehrsemissionen eingeht.

### 1 Nationale und internationale Berichterstattung im Rahmen des Übereinkommens von Paris

Damit die Treibhausgasinventare international vergleichbar sind, haben sich die Vertragsparteien der Klimakonvention bereits im Jahr 1996 in Genf darauf geeinigt, für die aggregierte Berichterstattung aller Treibhausgasemissionen die globalen Erwärmungspotentiale (Global Warming Potentials, GWP) bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren zu verwenden (GWP<sub>100</sub>). Alternativen zu GWP<sub>100</sub> wurde seither mehrfach überprüft und im Rahmen der Verhandlungen diskutiert. Von der Verwendung einer Alternative für die Erstellung der Treibhausgasinventare wurde bisher allerdings abgesehen.<sup>2</sup>

Aktuell ist die Verwendung der Werte für GWP<sub>100</sub> aus dem Fünften Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verbindlich vorgeschrieben (Tabelle 1 am Ende dieses Dokuments). Für Methan muss der Wert für biogenes Methan verwendet werden, da im Treibhausgasinventar CO<sub>2</sub> aus der atmosphärischen Oxidation von fossilem Methan zusätzlich ausgewiesen wird (siehe Abschnitt 2).<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 2.

<sup>2</sup> Beschreibung des internationalen Prozesses betreffend Metrik: [Common metrics | UNFCCC](#)

<sup>3</sup> [5/CMA.3 Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on its third session](#)

## 2 Klimawirkung von Methan

Verschiedene Treibhausgase unterscheiden sich in ihrer Wirkung auf das Klima. Die Klimawirkung einer Substanz hängt davon ab, wie stark die Wärmestrahlung in der Atmosphäre zurückgehalten wird (Strahlungsabsorption) und wie hoch die Konzentration in der Atmosphäre ist. Die Konzentration einer Substanz ist abhängig von der Höhe der Emissionen und der Geschwindigkeit der Abbauprozesse in der Atmosphäre (Lebensdauer/Verweilzeit).

Langlebige Treibhausgase werden in der Atmosphäre nur langsam abgebaut. Ein typisches Beispiel ist CO<sub>2</sub>, bei dem der Grossteil der bewirkten Erwärmung über Jahrtausende bestehen bleibt.<sup>4</sup> Die Emissionen von CO<sub>2</sub> kumulieren sich in der Atmosphäre und führen zu einer zunehmenden Erwärmung (siehe z.B. Abbildung [SPM.10](#) in IPCC, 2021). Mit einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen kann die Erwärmung deshalb nur verlangsamt werden. Erst wenn keine weiteren CO<sub>2</sub>-Emissionen mehr erfolgen, wird auch keine weitere Erwärmung mehr verursacht.<sup>5</sup>

Kurzlebige Treibhausgase werden in der Atmosphäre relativ rasch abgebaut. Somit verringert sich auch deren direkte Treibhauswirkung rasch. Hingegen kann eine indirekte Wirkung der Abbauprodukte noch länger bestehen bleiben. Ein typisches Beispiel ist Methan (CH<sub>4</sub>) mit einer mittleren Lebensdauer von ungefähr einem Jahrzehnt. Bei konstanten Emissionen stellt sich in der Atmosphäre eine Gleichgewichtskonzentration ein, bei welcher sich Emissionen und Abbauprozesse die Waage halten. Somit führen konstante Emissionen nicht zu einer weiteren Zunahme der direkten Treibhauswirkung. Eine Reduktion der CH<sub>4</sub>-Emissionen auf ein tieferes Niveau bewirkt, dass sich eine neue, tiefere Gleichgewichtskonzentration einstellen kann und die direkte Treibhauswirkung abnimmt.

Berechnungen mit einem vereinfachten Klimamodell<sup>6</sup> für die Schweiz zeigen, dass rund 18% der durch Emissionen der Schweiz verursachten Erwärmung auf CH<sub>4</sub>-Emissionen zurückzuführen sind (Abbildung 1). In Szenarien des IPCC,<sup>7</sup> welche die globale Erwärmung auf 1.5°C beschränken, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 auf Netto-Null reduziert. Zusätzlich werden auch die CH<sub>4</sub>-Emissionen um 35–70% (im Gegensatz zu CO<sub>2</sub> nicht auf null) reduziert. Diese Aussagen sind unabhängig von einer Metrik, mit welcher CH<sub>4</sub>-Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet werden, sondern beziehen sich auf die effektiven Emissionen.

Fossiles und biogenes CH<sub>4</sub> verhalten sich in der Atmosphäre identisch und sind in Bezug auf die direkte Treibhauswirkung nicht unterscheidbar. Bei der Oxidation von CH<sub>4</sub> in der Atmosphäre entsteht CO<sub>2</sub>. Daraus ergibt sich ein kleiner Unterschied: Das CO<sub>2</sub> aus der Oxidation von fossilem CH<sub>4</sub> wird zu den fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen dazugerechnet. Das CO<sub>2</sub> aus der

---

<sup>4</sup> IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers, Abschnitt D1.1.

<sup>5</sup> MacDougall, A. H. et al.: Is there warming in the pipeline? A multi-model analysis of the Zero Emissions Commitment from CO<sub>2</sub>, *Biogeosciences*, 17, 2987–3016, <https://doi.org/10.5194/bg-17-2987-2020>, 2020

<sup>6</sup> Modellbeschreibung: Leach, N. J. et al.: FaIRv2.0.0: A generalized impulse response model for climate uncertainty and future scenario exploration, *Geosci. Model Dev.*, 14, 3007–3036, <https://doi.org/10.5194/gmd-14-3007-2021>, 2021 / Smith, C.: FaIR calibration data (1.4.1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10566813>, 2023.

<sup>7</sup> IPCC, Special report on 1.5°, <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/spm-c/>, Figure SPM.3A

Oxidation von biogenem CH<sub>4</sub> wird dagegen nicht erfasst, da man davon ausgeht, dass es bereits in der Kohlenstoffbilanz des Landnutzungssektors berücksichtigt ist.

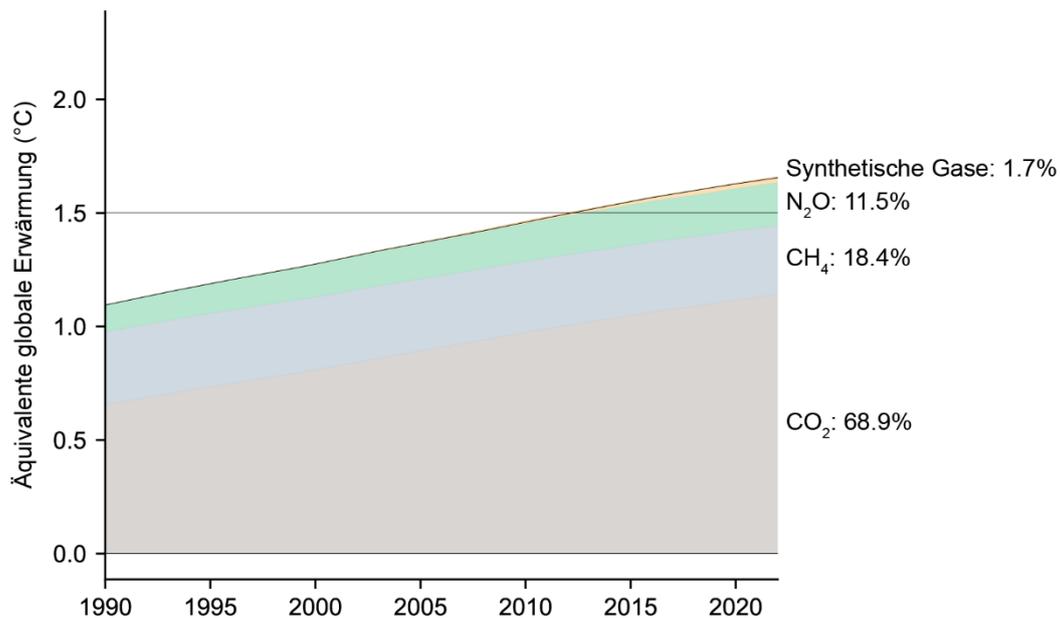


Abbildung 1: Äquivalente globale Erwärmung durch die Schweizer Inlandemissionen seit 1850 berechnet mit einem Klimamodell (FAIR) durch die ETH Zürich. Die Prozentangaben zeigen, welchen Teil der Erwärmung durch die bisherigen Schweizer Emissionen von CO<sub>2</sub>, Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und synthetischen Gasen stammt. Die äquivalente globale Erwärmung entspricht der globalen Erwärmung, die sich ergibt, wenn die induzierte Erwärmung durch die Schweizer Emissionen mit dem Global/Schweiz-Bevölkerungsfaktor in einem Stichjahr multipliziert wird. Als Stichjahr wurde hier 1990 verwendet, als es 800-mal mehr Menschen auf der Welt als in der Schweiz hatte. Bei den Stichjahren 2000, 2010 und 2020 würde der Bevölkerungsfaktor jeweils 860, 890 und 900 betragen. Die tatsächliche Erwärmung wird durch weitere Emissionen beeinflusst, beispielsweise andere direkte oder indirekte Treibhausgase sowie Aerosole, welche je nach Substanz eine wärmende oder kühlende Wirkung auf das Klima haben.

Wegen der verschiedenen Eigenschaften der diversen Treibhausgase gibt es keine universelle Metrik, mit welcher man die verschiedenen Treibhausgase in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umrechnen kann. Der unterschiedliche Beitrag einzelner Treibhausgase an die Klimaerwärmung kann aufgrund zahlreicher komplexer Prozesse nur mit detaillierten, kalibrierten Klimamodellen sinnvoll abgebildet werden. Bei allen Metriken handelt es sich stets um eine Näherung, die unter gewissen Annahmen eine Umrechnung zwischen verschiedenen Treibhausgasen und CO<sub>2</sub> erlaubt. Wesentliche Annahmen sind z.B. der Zeithorizont für die Betrachtung (z.B. 20 Jahre, 100 Jahre) oder ob man Emissionen individuell bewertet (Emissionspuls) oder die Entwicklung über eine Zeitspanne im Vergleich zu einem Referenzzeitpunkt bewertet (z.B. im Vergleich zu heute, zu 1990, zu vorindustriell). Je nach Annahmen resultieren unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Äquivalente und dadurch verändert sich auch die Bewertung der Emissionen.

Nebst der international verwendeten und etablierten Metrik (siehe Abschnitt 1) stellt die wissenschaftliche Literatur wertvolle Alternativen zu den globalen Erwärmungspotentialen (GWP) bereit, welche den zeitlichen Verlauf der Klimawirkung kurzlebiger Treibhausgase im Zusammenhang mit Emissionsbudgets anders beschreiben. Die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) hat in einem Faktenblatt die verschiedenen Bewertungsmethoden detailliert beschrieben und einander gegenüberstellt.<sup>8</sup> Die Wahl der Metrik ist abhängig

<sup>8</sup> [Fragen und Antworten zur Klimawirkung von Methan \(scnat.ch\)](#), [Faktenblatt Klimawirkung kurzlebiger Substanzen](#)

von der Fragestellung. Jede Metrik berücksichtigt nur spezifische Aspekte und bedingt Annahmen zum betrachteten Zeitraum. Gesellschaftliche und politische Gewichtungen, Fragen der historischen Verantwortung oder der Gerechtigkeit müssen aber bei der Bewertung von Emissionen ebenfalls berücksichtigt werden. Eine umfassende Diskussion zum Thema Metrik (in Englisch) hat die Food and Agriculture Organization der UNO in Kapitel 9 in ihrem Bericht «Methan emissions in livestock and rice systems» veröffentlicht.<sup>9</sup>

### **3 Klimawirkung der Flugverkehrsemissionen**

Nebst den CO<sub>2</sub>-Emissionen haben beim Flugverkehr auch die Emissionen weiterer Komponenten wie Wasserdampf, Stickoxide, Schwefeldioxid und Russ einen Einfluss auf das Klima. Deren Wirkung ist abhängig von der Menge der Emissionen (und damit auch der Flugbewegungen) sowie von zahlreichen weiteren Faktoren wie der Flugzeugflotte (Technologie), der Flugoperation (beispielsweise Flughöhe und Geschwindigkeit), der Umgebungsbedingungen (Temperatur, relative Feuchtigkeit, Hintergrundkonzentration der Luftschadstoffe) oder dem Betrachtungszeitraum (Stunden, Tage, Jahre), da die verschiedenen Substanzen unterschiedlich lange in der Luft verbleiben. Die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) hat den aktuellen Stand des Wissens in einem Faktenblatt zusammengefasst.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> [Methane emissions in livestock and rice systems \(fao.org\)](https://www.fao.org/publications/collection/en/collection/1377)

<sup>10</sup> [Faktenblatt Flugverkehr](#)

**Tabelle 1: Im Treibhausgasinventar der Schweiz gegenwärtig verwendete globale Erwärmungspotentiale (GWP<sub>100</sub>). Quelle: IPCC, 2013 (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 8, Appendix 8.A, Table 8.A.1).**

Treibhausgas	Chemische Formel	Wirkung in CO <sub>2</sub> eq
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	1
Methan (biogen)	CH <sub>4</sub>	28
Distickstoffmonoxid, Lachgas	N <sub>2</sub> O	265
<i>Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs)</i>		
– HFC-23	CHF <sub>3</sub>	12 400
– HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	677
– HFC-41	CH <sub>3</sub> F	116
– HFC-43-10mee	CF <sub>3</sub> CHFCHFCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1 650
– HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	3 170
– HFC-134	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	1 120
– HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1 300
– HFC-143	CH <sub>2</sub> FCHF <sub>2</sub>	328
– HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	4 800
– HFC-152	CH <sub>2</sub> FCH <sub>2</sub> F	16
– HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	138
– HFC-161	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	4
– HFC-227ca	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	2 640
– HFC-227ea	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	3 350
– HFC-236cb	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1 210
– HFC-236ea	CHF <sub>2</sub> CHFCF <sub>3</sub>	1 330
– HFC-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	8 060
– HFC-245ca	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	716
– HFC-245cb	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	4 620
– HFC-245ea	CHF <sub>2</sub> CHFCHF <sub>2</sub>	235
– HFC-245eb	CH <sub>2</sub> FCHFCF <sub>3</sub>	290
– HFC-245fa	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	858
– HFC-263fb	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	76
– HFC-272ca	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	144
– HFC-329p	CHF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	2 360
– HFC-365mfc	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	804

<i>Perfluorierte Kohlenwasserstoffe</i>		
– Perfluormethan – PFC-14	CF <sub>4</sub>	6 630
– Perfluorethan – PFC-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	11 100
– Perfluorcyclopropan – PFC c216	c-C <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	9 200
– Perfluorpropan – PFC-218	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	8 900
– Perfluorbutan – PFC-31-10	C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	9 200
– Perfluorcyclobutan – PFC-318	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	9 540
– Perfluorcyclopentan	c-C <sub>5</sub> F <sub>8</sub>	2
– Perfluorpentan – PFC-41-12	n-C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>	8 550
– Perfluorhexan – PFC-51-14	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	7 910
– Perfluorheptan – PFC-61-16	n-C <sub>7</sub> F <sub>16</sub>	7 820
– Perfluoroctan – PFC-71-18	C <sub>8</sub> F <sub>18</sub>	7 620
– Perfluorodecalin – PFC-91-18	C <sub>10</sub> F <sub>18</sub>	7 190
– Perfluorodecalin (cis)	Z-C <sub>10</sub> F <sub>18</sub>	7 240
– Perfluorodecalin (trans)	E-C <sub>10</sub> F <sub>18</sub>	6 290
Schwefelhexafluorid	SF <sub>6</sub>	23 500
Stickstofftrifluorid	NF <sub>3</sub>	16 100