

Working Paper

Metriken für Methan-Emissionen

Öko-Institut Working Paper 1/2023

Lorenz Moosmann

Anke Herold



Öko-Institut e.V. / Oeko-Institut e.V.

info@oeko.de

www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg / Freiburg Head Office

Postfach / P.O. Box 17 71

79017 Freiburg. Deutschland / Germany

Tel.: +49 761 45295-0

Fax: +49 761 45295-933

Büro Darmstadt / Darmstadt Office

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt. Deutschland / Germany

Tel.: +49 6151 8191-0

Fax: +49 6151 8191-933

Büro Berlin / Berlin Office

Borkumstraße 2

13189 Berlin. Deutschland / Germany

Tel.: +49 30 405085-0

Fax: +49 30 405085-388

Working Paper

Metriken für Methan-Emissionen

Lorenz Moosmann

Anke Herold

Working Paper 1/2023 Öko-Institut e.V. / Oeko-Institut e.V.

März 2023

Download: www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Methan-Metriken.pdf

Die Arbeiten an diesem Papier wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz unterstützt (Projekt “Wissenschaftliche Analysen zur Umsetzung und Weiterentwicklung des EU-Klimaschutzrahmens bis 2030“, FKZ: UM20 41 0030). Die Verantwortung für den Inhalt des Papiers liegt bei den Autor*innen.



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer Creative Commons Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz. Öko-Institut e.V. 2023

This work is licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0. Oeko-Institut e.V. 2023

Die Working Paper Series des Öko-Instituts ist eine Sammlung wissenschaftlicher Beiträge aus der Forschungsarbeit des Öko-Instituts e.V. Sie präsentieren und diskutieren innovative Ansätze und Positionen der aktuellen Nachhaltigkeitsforschung. Die Serie ist offen für Arbeiten von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus anderen Forschungseinrichtungen. Die einzelnen Working Paper entstehen in einem sorgfältigen wissenschaftlichen Prozess ohne externes Peer Review.

Oeko-Institut's Working Paper Series is a collection of research articles written within the scope of the institute's research activities. The articles present and discuss innovative approaches and positions of current sustainability research. The series is open to work from researchers of other institutions. The Working Papers are produced in a scrupulous scientific process without external peer reviews.

Zusammenfassung

Methan ist nach CO₂ das bedeutendste anthropogene Treibhausgas. Für die Einhaltung ambitionierter Klimaschutzziele ist es entscheidend, die Emissionen von Methan zusammen mit anderen Treibhausgasen wirksam zu reduzieren. Die Auswahl von Minderungsmaßnahmen hängt von Faktoren wie Machbarkeit, Kosten und Höhe der Emissionseinsparung ab. Werden Maßnahmen einander gegenübergestellt, die auf unterschiedliche Treibhausgase abzielen, so muss die Klimawirkung dieser unterschiedlichen Gase vergleichbar gemacht werden. Zu diesem Zweck wurden Metriken eingeführt.

Die gebräuchlichste Metrik ist das Treibhauspotenzial über einen Zeitraum von 100 Jahren (GWP₁₀₀), das die Erwärmungswirkung eines Gases über 100 Jahre mit der Wirkung von CO₂ vergleicht. Diese Metrik wird auch für Treibhausgasinventare unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Übereinkommen von Paris verwendet.

In der aktuellen Diskussion wird in manchen Fällen das Treibhauspotenzial von Methan über einen Zeitraum von 20 Jahren (GWP₂₀) angegeben. Außerdem wurden in der wissenschaftlichen Literatur weitere Metriken vorgeschlagen, um die Wirkung unterschiedlicher Treibhausgase zu vergleichen. Der Beitrag unterschiedlicher Treibhausgase zu den Gesamtemissionen und damit die Notwendigkeit zur Emissionsminderung kann sich durch die Wahl der Metrik deutlich verändern.

Ein Vergleich unterschiedlicher Metriken zeigt, dass das Treibhauspotential GWP₁₀₀ für die Priorisierung von Maßnahmen gut geeignet ist, da es langfristig ausgelegt ist und auf einer robusten wissenschaftlichen Grundlage basiert. Werden Metriken mit einem kürzeren Zeithorizont – wie etwa das GWP₂₀ – verwendet, so bleibt die langfristige Wirkung von Treibhausgasen über den Zeitraum von 20 Jahren hinaus unberücksichtigt. Die Aussagekraft der Gesamtemissionen für Betrachtungszeiträume wie die Mitte des Jahrhunderts würde dadurch eingeschränkt.

Eine weitere Metrik, das globale Temperaturänderungs-Potenzial (GTP), betrachtet die Wirkung eines Treibhausgases auf die Temperatur am Ende eines definierten Zeitraums. Es ist mit höheren Unsicherheiten als das GWP verbunden, und bei seiner Verwendung ist es wichtig, den gewählten Zeithorizont an jenen des Temperaturziels anzupassen.

Eine Abwandlung des Treibhauspotenzials, das sogenannte GWP*, fokussiert auf die Änderung der Emissionen kurzlebiger Substanzen im Vergleich zu historischen Emissionen. Negative GWP*-Werte stellen eine Emissionsreduktion im Vergleich zur Vergangenheit dar; selbst bei negativem GWP* können jedoch bedeutende Treibhausgas-Emissionen verbleiben. Dies erschwert eine Verwendung dieser Metrik für die Klimaschutzplanung.

Insgesamt stellt das Treibhauspotenzial GWP₁₀₀ für die Priorisierung von Klimaschutzmaßnahmen eine gute Wahl dar. Die Anwendung weiterer Metriken kann für verschiedene Fragestellungen nützlich sein, allerdings sollte jeweils deutlich gemacht werden, wenn Quantifizierungen der Treibhausgasemissionen von den Festlegungen unter dem Übereinkommen von Paris abweichen, und es sollte auch dargestellt werden, für welche Sektoren oder Akteure welche Metriken vorteilhaft sind.

Abstract: Metrics for methane emissions

Methane is the most important anthropogenic greenhouse gas after CO₂. To meet ambitious climate change mitigation targets, it is crucial to effectively reduce the emissions of methane along with other greenhouse gases. The selection of mitigation measures depends on factors such as feasibility, costs and the amount of emission savings. When measures are compared that target different greenhouse gases, the climate impact of these different gases must be made comparable. For this purpose, metrics have been introduced.

The most common metric is the global warming potential over 100 years (GWP₁₀₀), which compares the warming effect of a gas over 100 years with the effect of CO₂. This metric is also used for greenhouse gas inventories under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Paris Agreement.

In the current discussion, the global warming potential of methane over a period of 20 years (GWP₂₀) is sometimes used. In addition, other metrics have been proposed in the scientific literature to compare the impact of different greenhouse gases. The contribution of various greenhouse gases to total emissions, and thus the need to reduce emissions, can change significantly by the choice of metric.

A comparison of various metrics shows that GWP₁₀₀ is well suited for prioritising measures, as it is designed for the long term and is based on a robust scientific foundation. If metrics with a shorter time horizon – such as GWP₂₀ – are used, the long-term impact of greenhouse gases beyond the 20-year period is not taken into account. This would limit the informative value of total emissions for observation periods such as the middle of the century.

Another metric, the global temperature change potential (GTP), addresses the effect of a greenhouse gas on temperature at the end of a defined time period. It is associated with higher uncertainties than GWP, and when using it, it is important to align the chosen time horizon with that of the temperature target.

A variation of the global warming potential, the so-called GWP*, focuses on the change in emissions of short-lived substances compared to historical emissions. Negative GWP* values represent a reduction in emissions compared to the past. However, even with negative GWP*, significant greenhouse gas emissions may remain. This makes it difficult to use this metric for climate change mitigation planning.

Overall, GWP₁₀₀ represents a good choice for prioritising climate change mitigation measures. The use of other metrics can be useful for various issues, but it should be made clear where quantifications of greenhouse gas emissions differ from those set out in the Paris Agreement, and which sectors or actors would benefit from which metrics.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abstract: Metrics for methane emissions	5
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	9
1 Einführung	10
1.1 Unterschiedliche Eigenschaften von Methan und CO ₂	10
1.2 Metriken für die Umrechnung von Methan in CO ₂ -Äquivalente	10
1.3 Kriterien für eine Metrik	12
2 Gegenüberstellung von Metriken	14
2.1 Treibhauspotential GWP₁₀₀	15
2.1.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund	15
2.1.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile	16
2.1.3 Welchen Einfluss hat GWP ₁₀₀ auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?	17
2.1.4 Argumente für diese Metrik	17
2.2 Treibhauspotenzial GWP₂₀	18
2.2.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund	18
2.2.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile	18
2.2.3 Welchen Einfluss hat GWP ₂₀ auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?	20
2.2.4 Argumente	20
2.2.5 Was würde es bedeuten, wenn GWP ₂₀ für die Politikdiskussion verwendet wird?	21
2.3 GTP (verschiedene Zeithorizonte)	21
2.3.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund	21
2.3.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile	22
2.3.3 Welchen Einfluss hat GTP auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?	23
2.3.4 Argumente	23
2.3.5 Was würde es bedeuten, wenn andere Metriken für die Politikdiskussion verwendet werden?	23
2.4 GWP* und Varianten	23
2.4.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund	23
2.4.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile	24

2.4.3	Welchen Einfluss hat GWP* auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?	25
2.4.4	Argumente	25
2.4.5	Was würde es bedeuten, wenn GWP* für die Politikdiskussion verwendet wird?	26
2.5	Combined-GTP (CGTP)	26
2.5.1	Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund	26
2.5.2	Besonderheiten, Vor- und Nachteile	26
2.5.3	Welchen Einfluss hat CGTP auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?	26
2.5.4	Argumente	26
2.5.5	Was würde es bedeuten, wenn CGTP für die Politikdiskussion verwendet wird?	26
2.6	Separate Ziele für langlebige und kurzlebige Treibhausgase	27
2.6.1	Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund	27
2.6.2	Besonderheiten, Vor- und Nachteile	27
2.6.3	Argumente	28
2.6.4	Was würde es bedeuten, wenn separate Ziele für langlebige und kurzlebige Treibhausgase eingeführt werden?	29
2.7	Vergleichende Übersicht	30
2.8	Schlussfolgerungen aus dem Vergleich der Metriken	32
3	Ausblick	33
Anhang: Überblick über Metriken für Methanemissionen		34
Literaturverzeichnis		35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ursache-Wirkungs-Kette von Emissionen zum Meeresspiegelanstieg am Beispiel von CO ₂ und CH ₄ zur Veranschaulichung der GWPs and GTPs	15
Abbildung 2:	Integrierter Strahlungsantrieb für die globalen Emissionen im Jahr 2000 für GWPs mit Zeithorizont von 100 Jahren (oben) und 20 Jahren (unten)	19
Abbildung 3:	Temperaturveränderung durch Emissionen von unterschiedlichen Gase sowie von Ruß (black carbon – BC)	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Regelungen, in denen die Verwendung von Treibhauspotenzialen in Inventaren festgelegt wurde	11
Tabelle 2:	Methanemissionen im Jahr 2015 pro Einwohner unter Verwendung von GWP ₁₀₀ bzw. GWP*	25
Tabelle 3:	Vergleich der Metriken anhand von Kriterien	30
Tabelle 4:	Metriken für Methanemissionen im Fünften und Sechsten Sachstandsbericht des IPCC	34

1 Einführung

Methan (CH₄) gehört neben Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O) und fluorierten Gasen zu den wichtigsten anthropogenen Treibhausgasen. In Deutschland ist Methan das zweitwichtigste Treibhausgas nach CO₂ und trägt mit rund 7 % zu den gesamten anthropogenen Treibhausgasemissionen¹ bei (UBA 2022). Die wichtigste Quelle für Methanemissionen in Deutschland ist die Landwirtschaft (62 %), gefolgt vom Energiesektor (17%) und dem Abfallsektor (13 %) (UBA 2022). Innerhalb des Energiesektors stellen diffuse Emissionen aus Brennstoffen (insbesondere Erdgas) die wichtigste Quelle dar. Bei importierten fossilen Brennstoffen (Erdgas, Erdöl und Kohle) entstehen bedeutende zusätzliche Methanemissionen durch Förderung und Transport.

Um Wege aufzuzeigen, wie Methanemissionen in verschiedenen Sektoren reduziert werden könnten, veröffentlichte die EU-Kommission 2020 eine Methanstrategie (EC - European Commission 2020). Derzeit wird auf EU-Ebene die Methanverordnung verhandelt, basierend auf dem Vorschlag der EU-Kommission von 2021 (EC - European Commission 2021). Diese Verordnung fokussiert auf den Sektor Energie und umfasst die Messung, Berichterstattung und Reduktion von Emissionen innerhalb der EU sowie Transparenzinstrumente für Emissionen, die außerhalb der EU entstehen. Auf internationaler Ebene haben unter dem „Global Methane Pledge“ über 150 Staaten zugesagt, ihre Methanemissionen bis 2030 um 30 % gegenüber 2020 zu senken.²

1.1 Unterschiedliche Eigenschaften von Methan und CO₂

Methan unterscheidet sich in seinen physikalischen Eigenschaften gegenüber Kohlendioxid vor allem dadurch, dass es Infrarotstrahlung pro Molekül vergleichsweise stärker absorbiert und in der Atmosphäre damit über ein höheres Treibhauspotential verfügt. Allerdings besitzt es eine deutlich kürzere atmosphärische Verweildauer, die mit ca. 12 Jahren erheblich unter dem Wert für Kohlendioxid liegt, welches einmal ausgestoßen mehrere hundert Jahre in der Atmosphäre verweilen kann (IPCC 2001). Daher wird Methan zu den kurzlebigen Treibhausgasen gezählt.

1.2 Metriken für die Umrechnung von Methan in CO₂-Äquivalente

Um das Temperaturziel des Übereinkommens von Paris erreichen zu können, müssen die Emissionen aller Treibhausgase massiv reduziert werden. Auf nationaler und auf EU-Ebene wurden Reduktionsziele für 2030 vereinbart, und sowohl Deutschland also auch EU verpflichten sich langfristig zur Treibhausgasneutralität. Um die Einhaltung dieser Ziele überprüfen zu können, werden die Emissionen verschiedener Treibhausgase sowie die Aufnahme von CO₂ durch Senken in nationalen Treibhausgasinventaren erfasst.

Da die verschiedenen Treibhausgase unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweisen, hat die Emission z.B. einer Tonne Methan nicht dieselbe Wirkung auf die globale Erwärmung wie die Emission einer Tonne CO₂. Die Emissionen von nicht-CO₂-Gasen werden deshalb mit Hilfe einer Metrik in CO₂-Äquivalente umgerechnet.

¹ Dieser Wert ergibt sich bei Verwendung des Treibhauspotenzials GWP₁₀₀ aus dem vierten Sachstandsbericht des IPCC.

² Global Methane Pledge, <https://www.globalmethanepledge.org/>

Eine Umrechnungsmetrik für einzelne Treibhausgase ist notwendig, um diese in ihrer Wirkung vergleichbar zu machen und in ihrer Gesamtwirkung betrachten zu können. Eine Umrechnungsmetrik ist insbesondere notwendig,

- um die Menge und Wirkung des gesamten Treibhausgasausstoßes aggregieren zu können, um Aussagen zu Klimafolgen oder zur Wirkung von Anstrengungen zur Treibhausgasreduzierungen zu treffen,
- um die Wirkung von Klimaschutzmaßnahmen vergleichen und um Maßnahmen priorisieren zu können,
- um Minderungsmaßnahmen und -instrumente zu entwickeln, die übergreifend auf verschiedene Treibhausgase wirken, und
- um die Verursacher der Emissionen (Unternehmen, Staaten, Kommunen etc.) und deren Reduktionsanstrengungen vergleichen zu können hinsichtlich Status der Gesamtemissionen und Minderungsanstrengungen.

In Treibhausgasinventaren unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Übereinkommen von Paris wird das Treibhauspotential (Global Warming Potential) über einen Zeitraum von 100 Jahren (GWP_{100}) als Metrik verwendet. Das GWP_{100} einer Substanz gibt die kumulierte Erwärmungswirkung über 100 Jahre an, die durch die Emission eines Kilogramms dieser Substanz entsteht, im Vergleich zur Emission eines Kilogramms CO_2 . Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Entscheidungen, in denen die aktuellen Treibhausgaspotenziale für die Berichterstattung festgelegt wurden, sowie die darin festgelegten Werte für Methan.

Tabelle 1: Regelungen, in denen die Verwendung von Treibhauspotenzialen in Inventaren festgelegt wurde

Entscheidung	Gültig für	Gültig bis/ab	GWP_{100} (Methan)	Quelle
17/CP.8 (2002) ³	Berichte von Entwicklungsländern unter der Klimarahmenkonvention	Bis 2024	21	SAR
24/CP.19 (2013) ⁴	Berichte von Industrieländern unter der Klimarahmenkonvention	Bis 2024	25	AR4
18/CMA.1 (2018) ⁵	Zweijährliche Transparenzberichte unter dem Übereinkommen von Paris	Spätestens ab Ende 2024	28	AR5
2020/1044 (Delegierte Verordnung der EU-Kommission, 2020) ⁶	Berichte von EU-Mitgliedsstaaten unter der Governance-Verordnung	Ab 2023	28	AR5

³ Decision 17/CP.8: Guidelines for the preparation of national communications from Parties not included in Annex I to the Convention, <https://unfccc.int/documents/3217>

⁴ Decision 24/CP.19: Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention, <https://unfccc.int/documents/8105>

⁵ Decision 18/CMA.1: Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement, <https://unfccc.int/documents/193408>

⁶ Delegierte Verordnung (EU) 2020/1044 der Kommission vom 8. Mai 2020 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Werte für

Entscheidung	Gültig für	Gültig bis/ab	GWP ₁₀₀ (Methan)	Quelle
-/CP.27 (2022) ⁷ (COP decision on reporting guidelines)	Inventarberichte unter der Klimarahmenkonvention von Industrieländern, die nicht dem Pariser Übereinkommen beigetreten sind	Spätestens ab Ende 2024	28	AR5
-/CP.27 (2022) ⁸ (COP decision on common metrics)	Berichte unter der Klimarahmenkonvention von Ländern, die nicht dem Pariser Übereinkommen beigetreten sind	Spätestens ab Ende 2024	28	AR5

SAR: Second Assessment Report. AR4: Fourth Assessment Report. AR5: Fifth Assessment Report

Die Werte der einzelnen Metriken ändern sich im Lauf der Zeit aufgrund neuer Daten und aufgrund von Änderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre. Aktuelle Metriken werden jeweils in den Sachstandsberichten („Assessment Reports“) des Weltklimarats (IPCC) veröffentlicht. Ab 2024 gilt unter der Klimarahmenkonvention, dem Übereinkommen von Paris und der EU-Governance-Verordnung einheitlich der Wert aus dem fünften Sachstandsbericht des IPCC (GWP₁₀₀ = 28) (AR5, IPCC 2013).

Im Jahr 2021 wurden neue Treibhauspotenziale im sechsten Sachstandsbericht des IPCC (AR6, IPCC 2021) veröffentlicht. Die meisten Länder haben jedoch die Werte aus dem Fünften Sachstandsbericht verwendet, um ihre nationalen Ziele für 2030 festzulegen, und sind derzeit in der Umsetzung von Maßnahmen, um diese Ziele zu erreichen. Für die Überprüfung des Fortschritts bei der Umsetzung verwenden diese Länder weiterhin die GWPs aus dem Fünften Sachstandsbericht. Um Konsistenz zwischen der Überprüfung des Fortschritts und der Berichterstattung in Treibhausgasinventaren zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die GWPs während der laufenden NDC-Periode 2021 bis 2030 nicht verändert werden. Eine Umstellung der Werte in der Berichterstattung von AR5 auf AR6 ist deshalb nicht vorgesehen. Die Methan-Treibhausgaspotenziale zwischen AR5 und AR6 unterscheiden sich nur wenig. In Tabelle 4 im Anhang sind die wichtigsten Metriken für Methan aus dem AR5 und AR6 einander gegenübergestellt.

Auch wenn die Metriken für Treibhausgasinventare unter der Klimarahmenkonvention, unter dem Pariser Übereinkommen und für die EU-Berichterstattung für die kommenden Jahre feststehen, werden Metriken weiter diskutiert. Dies ist insbesondere der Fall, da in den vergangenen Jahren neue Metriken entwickelt wurden. In diesem Papier werden ausgewählte Metriken anhand verschiedener Kriterien einander gegenübergestellt.

1.3 Kriterien für eine Metrik

Sämtliche Metriken, die für die Umrechnung von Treibhausgasen zur Verfügung stehen, haben sowohl Vor- als auch Nachteile. Die Wichtigkeit der einzelnen Kriterien kann sich dabei je nach Fragestellung unterscheiden, allerdings sind die Fragestellungen in der internationalen Klimapolitik

Treibhauspotenziale und die Inventarleitlinien und im Hinblick auf das Inventarsystem der Union sowie zur Aufhebung der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 666/2014 der Kommission, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2020/1044/oj

⁷ Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention, <https://unfccc.int/documents/623664>

⁸ Common metrics to calculate the carbon dioxide equivalence of greenhouse gases, <https://unfccc.int/documents/623665>

eindeutig auf die Vergleichbarkeit der Treibhausgase hinsichtlich ihres Beitrages zur Klimaänderung bezogen. Bei der Wahl einer Metrik sind die folgenden Kriterien relevant:

- Robuster wissenschaftlicher Zusammenhang für die Quantifizierung und den Vergleich verschiedener Treibhausgase und ihrer Wirkung auf die Klimaänderung, und dieser Zusammenhang ist auf objektive physikalische Eigenschaften gestützt;
- Vereinbarkeit mit übergeordneten Zielen unter der Klimarahmenkonvention und dem Pariser Übereinkommen (z.B. Temperaturziel);
- unterstützt die Festlegung von Minderungszielen und das Verfolgen des Fortschritts bei der Umsetzung in den Handlungszeiträumen des Pariser Übereinkommens;
- unterstützt die Priorisierung von Minderungsstrategien und die Auswahl von Minderungsmaßnahmen, die mehrere Treibhausgase betreffen, in den gegenwärtigen Handlungszeiträumen der Staaten;
- bietet eine robuste Grundlage für den Emissionshandel mit verschiedenen Treibhausgasen;
- es bestehen anerkannte Quellen für Referenzwerte, d.h. Werte für die Metrik wurden durch den IPCC berechnet, werden regelmäßig veröffentlicht und gegebenenfalls an den aktuellen Forschungsstand angepasst;
- möglichst stabile Werte mit geringen Veränderungen über Planungszeiträume von ca. 50 Jahren;
- Vermeidung von nicht intendierten Konsequenzen.

2 Gegenüberstellung von Metriken

Im Folgenden wird ein Überblick über aktuell diskutierte Metriken gegeben. Es wird zwischen Global Warming Potential (GWP), Global Temperature Change Potential (GTP) bzw. Combined-GTP und einer Abwandlung des GWP (GWP*) unterschieden. Für jede dieser Metriken existieren Varianten; insbesondere werden sie über verschiedene Zeithorizonte berechnet. Da für GWP neben dem 100-Jahres-Horizont auch der 20-Jahres-Horizont in die Diskussion eingebracht wird, werden diese beiden Zeithorizonte separat betrachtet. Das Kapitel ist deshalb in sechs Abschnitte eingeteilt:

- GWP₁₀₀
- GWP₂₀
- GTP (verschiedene Zeithorizonte)
- Combined-GTP
- GWP* und Varianten
- Separate Ziele und Metriken für kurzlebige und langlebige Treibhausgase

Für jede der Metriken werden das Konzept, die wissenschaftliche Begründung, Besonderheiten, Vor- und Nachteile, der Einfluss auf die Gewichtung von Methan bei der Berichterstattung und bei Klimaschutzmaßnahmen und die vorgebrachten Argumente diskutiert.

Um die Emissionen verschiedener Gase zu vergleichen, wird in der Regel CO₂ als Referenzgas verwendet, und die Auswirkungen der anderen Gase werden relativ dazu in CO₂-Äquivalenten (CO₂e) ausgedrückt. Die Wirkung jedes Treibhausgases in der Atmosphäre hängt von den folgenden Faktoren ab:

- Wie viel des jeweiligen Gases befindet sich in der Atmosphäre?
- Wie lange bleibt das Gas in der Atmosphäre?
- Wie stark beeinflusst das Gas den Klimawandel?

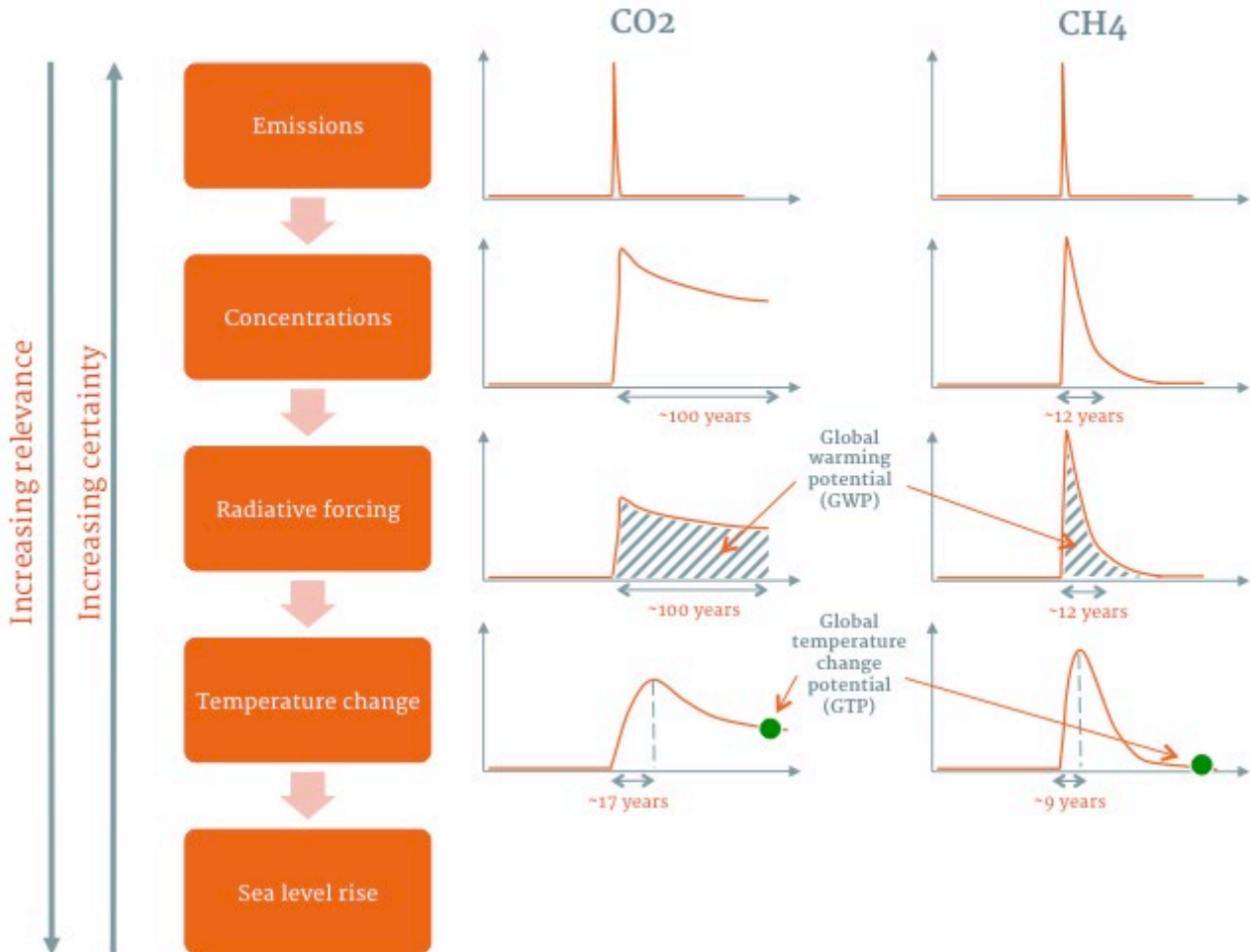
Die ersten beiden Fragen lassen sich durch Messungen recht eindeutig beantworten. Die dritte Frage, d.h. das Ausmaß des Einflusses eines Gases auf den Klimawandel, ist schwieriger zu beurteilen, und es wurden verschiedene Näherungen und Ansätze verwendet, um die Wirksamkeit verschiedener Treibhausgase zu vergleichen. Auch muss bei der Wirkung in Bezug auf die Klimafolgen hinsichtlich der Wirkung auf den Anstieg der Oberflächentemperatur, auf die Niederschläge oder auf den Meeresspiegelanstieg unterschieden werden.

Um die Wissenschaft hinter den Metriken zu verstehen, wurde das Modell der Ursache-Wirkungskette der Treibhausgase in der Atmosphäre verwendet, um die verschiedenen Konzepte zu erklären. Abbildung 1 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Emissionen und Klimaauswirkungen wie dem Meeresspiegelanstieg mit CO₂ als Referenzgas:

Ein anfänglicher Emissionsimpuls erhöht die Konzentration des Gases in der Atmosphäre. Durch den Zerfall des Gases in der Atmosphäre nimmt die Konzentration dann wieder ab, wobei die Geschwindigkeit dieser Abnahme von der atmosphärischen Lebensdauer eines Gases abhängt. Der Strahlungsantrieb steht in direktem Zusammenhang mit der Konzentration und bestimmt, wie viel der Strahlung in der Atmosphäre in Wärme umgewandelt wird. Der Strahlungsantrieb führt dann zu einer Änderung der Temperatur im Vergleich zum Ausgangsniveau. Die mit dem anfänglichen Emissionsimpuls verbundene Temperaturänderung nimmt zunächst zu, erreicht ihr Maximum und fällt dann wieder ab. Die Temperaturänderung führt in der Folge zum Anstieg des Meeresspiegels, veränderten Niederschlägen und zu anderen Klimaauswirkungen. Die Auswirkungen von Treibhausgasen können also auf der Grundlage eines Vergleichs der verschiedenen Elemente dieser Ursache-Wirkungskette, z.B. des Strahlungsantriebs, der Temperaturänderung oder auch

direkter Auswirkungen wie dem Meeresspiegelanstieg verglichen werden und Metriken können an diesen verschiedenen Ebenen ansetzen.

Abbildung 1 Ursache-Wirkungs-Kette von Emissionen zum Meeresspiegelanstieg am Beispiel von CO₂ und CH₄ zur Veranschaulichung der GWPs and GTPs



Quelle: Höhne und Blok (2005)

2.1 Treibhauspotential GWP₁₀₀

2.1.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund

Das Treibhauspotential (Global Warming Potential – GWP) einer Substanz gibt die kumulierte Erwärmungswirkung (cumulative radiative forcing) über einen bestimmten Zeithorizont an, die durch die Emission eines Kilogramms dieser Substanz entsteht, im Vergleich zur Emission eines Kilogramms der Referenzsubstanz. Als Referenzsubstanz (Referenzgas) wird normalerweise CO₂ verwendet; anderer Substanzen können durch Multiplikation mit ihrem Treibhauspotential in kg CO₂-Äquivalänte umgerechnet werden.

Treibhauspotentiale können für verschiedene Zeithorizonte bestimmt werden. In den Berichten des IPCC, zuletzt im sechsten Sachstandsbericht (IPCC 2021), sind Treibhauspotentiale über 20, 50 und 100 Jahre angegeben. Für nationale Treibhausgasinventare unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Übereinkommen von Paris wird das Treibhauspotential über einen Zeitraum von 100

Jahren (GWP_{100}) verwendet. Diese Wahl des Zeithorizonts von 100 Jahren hat historische Ursachen, da bei der Einführung des GWP durch den IPCC noch von einer Lebensdauer von CO_2 von 100 Jahren ausgegangen wurde und die Wahl des Zeithorizonts sich an dieser Lebensdauer orientierte. Der Zeithorizont von 100 Jahren wurde danach beibehalten, weil die Wahl eines kürzeren Zeithorizonts die lange Lebensdauer vieler Treibhausgase nicht berücksichtigen würde und damit deren langfristige Wirkung stark unterschätzen würde. Die Szenarien des IPCC zu den Folgen des Klimawandels basieren u.a. auf angenommenen globalen effektiven Strahlungsantrieben bis zum Jahr 2100. Der Betrachtungshorizont bis 2100 korrespondiert gut mit dem Zeithorizont von 100 Jahren, der dem GWP_{100} zugrunde liegt und entspricht auch dem Zeitraum, in welchem sich aktuelle politische und ökonomische Handlungsstrategien vorrangig auswirken.

Die Metriken unterscheiden sich auch in ihrer mathematischen Funktion bezüglich des Zeithorizonts: Bei GWP wird ein Emissionspuls über den Zeithorizont integriert und dies drückt die Wirkung während des gesamten Zeithorizonts aus, während Endpunkt-Metriken nur betrachten, welcher Effekt von einem Emissionspuls nach dem Betrachtungszeitraums noch übrig ist (siehe Abbildung 1, Grafiken rechts von „radiative forcing“ und „temperature change“).

2.1.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile

Das Treibhauspotential GWP_{100} wird für die Berichterstattung von Inventaren, Politiken und Maßnahmen und Projektionen unter der Klimarahmenkonvention verwendet. Auch für die Berichterstattung unter dem Übereinkommen von Paris muss diese Metrik verwendet werden; andere Metriken können zusätzlich verwendet werden (UNFCCC 2018).

GWP_{100} hat damit den Vorteil, dass es für die Berichterstattung unter der UNFCCC etabliert ist. Auch die weitere Verwendung dieser Metrik unter dem Übereinkommen von Paris ist gesichert. Ebenso wird GWP_{100} im EU ETS und in anderen nationalen und internationalen Emissionshandelssystemen verwendet. Schließlich wurde GWP_{100} auch vom IPCC als Basis für die aktuellen Minderungsszenarien verwendet.

Die GWP-Werte werden vom IPCC im Lauf der Zeit revidiert, weil die Strahlungseigenschaften der Gase von der Hintergrundgaskonzentration abhängen und sich diese kontinuierlich ändert. Für die bisherige Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Kyoto-Protokoll wurde GWP_{100} aus dem vierten IPCC-Sachstandsbericht verwendet; viele Entwicklungsländer verwenden noch die Werte aus dem zweiten IPCC-Sachstandsbericht. Unter dem Übereinkommen von Paris sind die Werte aus dem Fünften IPCC-Sachstandsbericht zu verwenden (IPCC 2013).

Box 1. Climate-carbon feedback und Methan-Oxidation

Im Folgenden werden zwei Aspekte betrachtet, die für alle in diesem Papier diskutierten Metriken gleichermaßen gelten, nicht nur für GWP.

Im 5. Sachstandsbericht des IPCC wurden Rückwirkungen des Kohlenstoffzyklus auf Emissionsmetriken, sogenannte „climate-carbon feedbacks“ betrachtet. Der „Climate-carbon feedback“ berücksichtigt, dass es durch die Emission von Treibhausgasen und die resultierende Erwärmung zu Änderungen im Kohlenstoffkreislauf und damit zu zusätzlichen CO_2 -Emissionen kommt. Solches Feedback wird für CO_2 in den Kohlenstoffzyklusmodellen eingerechnet, für nicht- CO_2 -Emissionen wurde es jedoch bis zum 5. Sachstandsbericht des IPCC vernachlässigt. Die Einrechnung der Feedbacks für Nicht- CO_2 Emissionen würde deren Wirkungen genauer repräsentieren. Die Berechnung des „climate-carbon feedback“ ist jedoch mit Unsicherheiten verbunden, und Werte mit „climate-carbon feedback“ sind nicht für alle Gase im AR5 angegeben. Für den 6. Sachstandsbericht wurde „climate-carbon feedback“ konsistent in alle Metriken für alle Gase eingerechnet. Nicht- CO_2 -Emissionen können den Kohlenstoffkreislauf auch indirekt beeinflussen. Für Methan betrifft dies Effekte auf Ozon und Wasserdampf in der Atmosphäre, und die Metriken werden entsprechend mit einem Faktor skaliert.

Als zweite Besonderheit unterscheidet der AR5 und AR6 zwischen biogenem und fossilem Methan. Der Wert für fossiles Methan berücksichtigt die zusätzliche Erwärmungswirkung des CO₂, das beim Abbau von Methan in der Atmosphäre entsteht (1 kg CH₄ wird in 2,75 kg CO₂ umgewandelt, d.h. für fossiles CH₄ wird ein Wert von 2,75 addiert). In den Inventaren unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Übereinkommen von Paris wird nicht zwischen fossilem und biogenem Methan unterschieden. Bei den einzelnen Emissionsquellen ist zwar bekannt, ob sie fossilen oder biogenen Ursprungs sind; bei der Berechnung der Gesamtemissionen werden jedoch alle Methanemissionen addiert.

Wird durchgängig das GWP für fossiles Methan verwendet, so kommt es zu Überschätzungen in den Sektoren, in denen biogenes Methan emittiert wird, d.h. in der Landwirtschaft, im LULUCF- und im Abfallsektor. Außerdem kommt es zu Überschätzungen bei Verbrennungsemissionen fossiler Brennstoffe, da die CO₂-Emissionsfaktoren auf der Annahme beruhen, dass bei der Verbrennung 100% des Kohlenstoffs in CO₂ umgewandelt wird. Wird durchgängig das GWP für biogenes Methan verwendet, so kommt es zu Unterschätzungen bei diffusen Emissionen und industriellen Prozessen, sofern indirekte Emissionen nicht separat im Inventar berücksichtigt werden.

Die Metriken für Methan aus dem AR5 und AR6 sind in Anhang 1 aufgelistet. Das GWP₁₀₀ (biogen) beträgt 28 gemäß AR5 und 27,0 gemäß AR6. Der GWP₁₀₀-Wert aus dem „Forth Assessment Report“ (IPCC 2007), der bisher für Inventare von Industrieländern verwendet wurde, beträgt 25.

2.1.3 Welchen Einfluss hat GWP₁₀₀ auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?

Aufgrund der relativ geringen Lebensdauer von Methan wird durch die Verwendung von GWP₁₀₀ praktisch der gesamte Zeitraum der Erwärmungswirkung dieses Gases abgedeckt, während bei langlebigen Gasen wie CO₂ die Erwärmungswirkung über den Zeithorizont von 100 Jahren hinausgeht und daher durch die gewählten 100 Jahre nicht vollständig abgedeckt wird. Methan wird höher gewichtet, als dies bei der Verwendung von GTP der Fall ist, und niedriger, als dies bei der Verwendung von GWP₂₀ der Fall ist.

2.1.4 Argumente für diese Metrik

Die Argumente für GWP₁₀₀ sind, dass die Metrik etabliert ist, und sie in Inventaren, in Emissionshandelssystemen und bei der Entwicklung der Klimaschutzziele (z.B. NDCs) verwendet wird. Eine Umstellung der Metrik, die drastische Veränderungen in der Bedeutung einzelner Treibhausgase mit sich bringt, könnte in der Öffentlichkeit dazu führen, dass die Wissenschaftlichkeit und das wissenschaftliche Verständnis der gesamten Klimaforschung in Frage gestellt wird. Denn die seit Jahrzehnten verwendeten Klimaszenarien des IPCC basieren auf Berechnungen mit GWP₁₀₀, so dass diese dann ebenfalls in Frage gestellt würden bzw. neu berechnet werden müssen und damit auch das Übereinkommen von Paris seiner wissenschaftlichen Grundlage beraubt würde. Es wäre extrem schwer zu vermitteln, wenn nach 25 Jahren Klimaverhandlungen Methan statt mit dem Faktor 28 mit dem Faktor 4 (GTP) oder 84 (GWP₂₀) multipliziert würde. Diese Situation würde Klimaskeptikern stark in ihrer Argumentation unterstützen, dass es keine ausreichende wissenschaftliche Grundlage für drastische Emissionsminderungen gibt. Außerdem würde solch ein Vorgang zahlreiche Lobbygruppen mit Partikularinteressen dazu einladen, Veränderungen der Metrik zu fordern, die die Bedeutung der jeweiligen Emissionen diese Gruppen reduziert. Auch die derzeitige Diskussion um Metriken sollte die dahinterstehenden Interessen, auf diese Weise Emissionen zu verringern, nicht außer Acht lassen.

Die Metrik weist geringere Unsicherheiten auf als andere Metriken und die Werte von GWP₁₀₀ ändern sich im Zeitverlauf nur relativ wenig und geben daher eine verlässliche Basis für politische Entscheidungen und ökonomische Investitionen. Es wird auch argumentiert, dass ein Zeithorizont von 100 Jahre langfristige Aspekte angemessen berücksichtigt.

Es ist notwendig GWP_{100} beizubehalten, um die Wirkung bestehender Politikinstrumente aufrecht zu erhalten. Fast alle Staaten haben ihre Minderungsziele unter dem Pariser Übereinkommen auf Basis von GWP_{100} erstellt. Eine Änderung der Metrik würde eine Aktualisierung aller bestehenden NDCs erfordern, was wenig praktikabel wäre. Die F-Gas-Verordnung der EU bezieht sich hauptsächlich auf HFKW, deren GTP-Äquivalente deutlich unter den GWP-Emissionen liegen würden. Im Fall einer Umstellung auf GTP würde die gesamte FKW-Politik sowohl auf EU-Ebene als auch ein vorgeschlagener globaler FKW-Abbau zu erheblich geringeren Emissionsreduktionen (umgerechnet in CO_2e) führen.

2.2 Treibhauspotenzial GWP_{20}

2.2.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund

Das Treibhauspotential mit einem Zeithorizont von 20 Jahren (GWP_{20}) folgt demselben Konzept wie das GWP_{100} , es wird jedoch nur die kumulierte Erwärmungswirkung über einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet. Die Wirkung des Anteils an Treibhausgasen, die länger als 20 Jahre in der Atmosphäre verbleiben, wird nicht berücksichtigt und abgeschnitten. In der Literatur im Rahmen der IPCC-Sachstandsberichte finden sich keine wissenschaftlichen Begründungen für eine Verwendung von GWP_{20} als generelle Metrik.

2.2.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile

Durch die Wahl eines Zeithorizonts von 20 Jahren für alle Treibhausgase/Substanzen wird kurzlebigen Substanzen wie Ruß (black carbon) oder Methan mehr Gewicht verliehen, Substanzen mit langer atmosphärischer Aufenthaltsdauer, insbesondere CO_2 , aber auch N_2O , PFCs und SF_6 wird erheblich weniger Gewicht verliehen und deren Treibhauswirkung wird unterschätzt. Abbildung 2 (übernommen aus dem 4. Sachstandsbericht des IPCC) macht die Dimension der Veränderung für die globalen Emissionen des Jahres 2000 beispielhaft deutlich und CH_4 würde die Klimawirkung deutlich dominieren. Die mindernde Wirkung von Aerosolen und Ruß auf den Strahlungsantrieb wäre plötzlich ungefähr genauso groß wie die erhöhende Wirkung von CO_2 und es ergäben sich falsche langfristigen Handlungsoptionen, da die Erhöhung des Anteils an Ruß und Aerosolen praktisch in den quantitativen Effekten ebenbürtig zur CO_2 -Minderung würde.

Bei GWP_{20} würde der Anteil der langlebigen Treibhausgase am Strahlungsantrieb in den Zeiträumen, die den Betrachtungen des IPCC oder des Pariser Übereinkommens zugrunde liegen, deutlich unterschätzt, weil die langfristige Wirkung nach 20 Jahren nicht mehr betrachtet wird. Es wäre auch unlogisch, GWPs mit einem Zeithorizont von 20 Jahren für langfristige Klimaziele zu verwenden, die über den Zeitraum von 20 Jahren, d.h. über das Jahr 2040 hinausreichen. GWP_{20} wäre für Langfriststrategien, die in der Regel bis 2050 reichen, nicht geeignet.

Die Wahl dieses relativ kurzfristigen Zeithorizonts muss daher als Nachteil gesehen werden, da dieser Zeithorizont nicht mit langfristigen Klimaschutzziele kompatibel ist. Unter dem Übereinkommen von Paris wird eine Stabilisierung der globalen Temperatur angestrebt. Dies kann nur erreicht werden, wenn die Emissionen langlebiger Treibhausgase (insbesondere CO_2) massiv reduziert werden. Die Emissionen kurzlebiger Substanzen haben einen geringeren Einfluss auf dieses langfristige Ziel.

Abbildung 2: Integrierter Strahlungsantrieb für die globalen Emissionen im Jahr 2000 für GWPs mit Zeithorizont von 100 Jahren (oben) und 20 Jahren (unten)

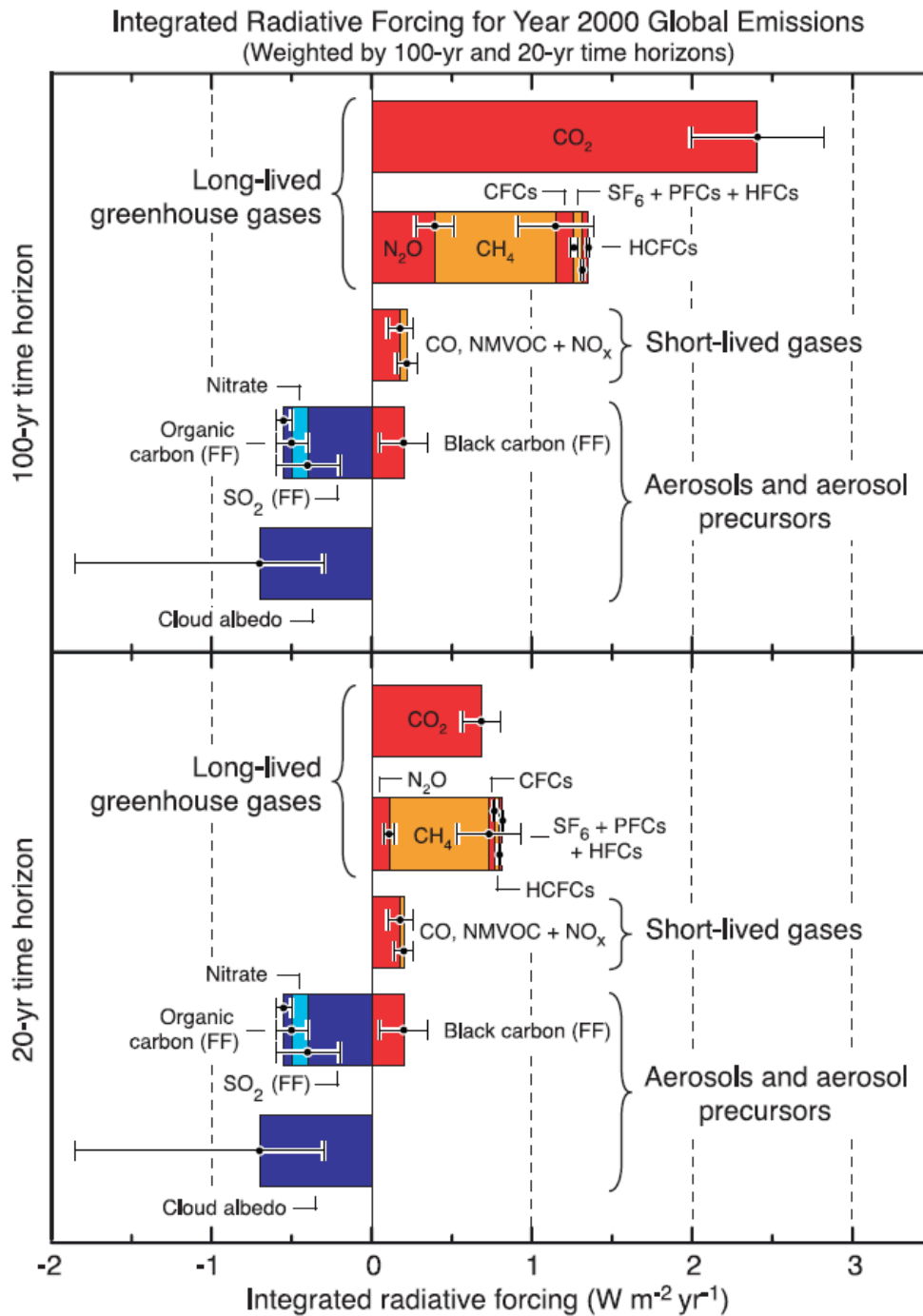


Figure 2.22. Integrated RF of year 2000 emissions over two time horizons (20 and 100 years). The figure gives an indication of the future climate impact of current emissions. The values for aerosols and aerosol precursors are essentially equal for the two time horizons. It should be noted that the RFs of short-lived gases and aerosol depend critically on both when and where they are emitted; the values given in the figure apply only to total global annual emissions. For organic carbon and BC, both fossil fuel (FF) and biomass burning emissions are included. The uncertainty estimates are based on the uncertainties in emission sources, lifetime and radiative efficiency estimates.

Quelle: Forster et al. (2007), IPCC (2013)

2.2.3 Welchen Einfluss hat GWP₂₀ auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?

Wird für die Priorisierung von Minderungsmaßnahmen GWP₂₀ anstatt GWP₁₀₀ verwendet, so wird Methan um einen Faktor von ca. 3 stärker gewichtet. Um ein festgelegtes Emissions-Reduktionsziel zu erreichen, ist es dann attraktiver, Methanemissionen zu reduzieren anstatt transformative Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen durchzuführen. Wenn Methan- anstatt CO₂-Emissionen reduziert werden, erschwert dies jedoch die die Einhaltung der langfristigen Klimaziele, da CO₂ und andere Treibhausgase langfristig in der Atmosphäre verbleiben.

2.2.4 Argumente

Es wird das hohe Potential an Methan-Minderungsmaßnahmen (z.B. bei diffusen Emissionen) vorgebracht. Dies ist unbestritten, und viele dieser Maßnahmen können mit geringen Kosten umgesetzt werden. Wenn bei der Priorisierung von Maßnahmen jedoch GWP₂₀ angewendet wird, so besteht die Gefahr, dass die Reduktion von Methanemissionen gegenüber der Reduktion von CO₂-Emissionen in den Vordergrund tritt. Dies hat negative Auswirkungen auf die Einhaltung der langfristigen Klimaschutzziele unter dem Pariser Übereinkommen.

Von einigen Umweltschutzorganisationen wurde vorgeschlagen, GWP₂₀ zusätzlich zu GWP₁₀₀ zu verwenden und diese gemeinsam bei der Beurteilung und Abrechnung zu verwenden („dual accounting“). Es ist jedoch unklar, wie eine gemeinsame Beurteilung und Abrechnung durchgeführt werden kann. Für die Priorisierung von Maßnahmen oder für den Vergleich mit Reduktionszielen ist ein einheitlicher Maßstab nötig. Es können jedoch nicht zwei Umrechnungsmetriken gemeinsam und gleichzeitig für die Bewertung des Erreichens von Minderungszielen oder für Emissionszertifikate im Emissionshandel verwendet werden. Das wäre vergleichbar mit der Verwendung von zwei sehr unterschiedlichen Wechselkursen für eine Währung.

Es wird auf Kipppunkte („tipping points“) im globalen Klimasystem hingewiesen, die bereits in den nächsten Jahrzehnten erreicht werden. Die Gefahr einer schnelleren Erreichung von Kipppunkten in den nächsten 20 Jahren wird für deutlich wichtiger erachtet als die Gefahr der mittel- und langfristigen globalen Erwärmung. Es wird auch der IPCC dafür kritisiert, GWP₁₀₀ zu verwenden und zu sehr auf die langfristige Klimaänderung zu fokussieren. Wann genau Kipppunkte erreicht werden, kann nicht vorhergesehen werden, und in der Diskussion werden auch keine konkreten Beispiele genannt. Durch die Fokussierung auf kurzlebige Treibhausgase würde die Erwärmung in den nächsten Jahrzehnten etwas verlangsamt, sie wäre aber langfristig höher und könnte zu mehr Kipppunkten führen als eine Entwicklung, die stärker auf CO₂-Reduktionen fokussiert.

Außerdem müssten bei einem Fokus auf kurzlebige Treibhausgase nicht nur CH₄, sondern auch andere relevante kurzlebige Substanzen mit Treibhauspotenzial wie Stickoxide (NO_x) oder Ruß betrachtet werden. Nach dem 5. Sachstandsbericht des IPCC haben Stickoxidemissionen in Europa eine kühlende Wirkung, die einem GWP₂₀-Wert von -39,4 entspricht und global von -108, der GWP₁₀₀-Wert liegt nur noch bei -15,6 bzw. -31. Auch die Wirkung von Ruß, die insbesondere in kurzen Zeiträumen relevant ist, müsste dann viel stärker in den Blick genommen werden, denn der GWP₂₀-Wert für Ruß beträgt laut IPCC 3200, der Wert für GWP₁₀₀ ist 900, d.h. es ist nicht gerechtfertigt bei einer Betrachtungsweise, die die Effekte der kurzlebigen Treibhausgase betont, nur CH₄ in den Blick zu nehmen, sondern auch Substanzen, die derzeit nicht einmal als indirekte Treibhausgase bilanziert werden.

2.2.5 Was würde es bedeuten, wenn GWP₂₀ für die Politikdiskussion verwendet wird?

Die Auswahl von Minderungsmaßnahmen hängt von vielen Faktoren ab, unter anderem von der technischen Machbarkeit, den Kosten und der Akzeptanz. In der Priorisierung von Maßnahmen kann aber auch die verwendete Metrik eine Rolle spielen. Wird eine Metrik mit einem hohen Treibhausgaspotenzial für Methan verwendet, so stellt dies einen zusätzlichen Anreiz dar, Methanemissionen zu reduzieren, um ein bestimmtes Klimaziel zu erreichen.

Wenn GWP₂₀ anstatt GWP₁₀₀ in der Politikdiskussion verwendet wird, werden Methan-Reduktionsmaßnahmen gegenüber CO₂-Reduktionsmaßnahmen und gegenüber der Reduktion anderer langlebiger Treibhausgase priorisiert. Ein gesetztes Minderungsziel könnte dann mit höheren CO₂-Emissionen erreicht werden, als bei Verwendung von GWP₁₀₀. Diese höheren CO₂-Emissionen führen langfristig zu einer größeren Erwärmung und sind kontraproduktiv für die Einhaltung der langfristigen Klimaziele.

Nachdem auch für die IPCC-Szenarien für die Pfade zum Erreichen der 1,5°C oder 2°C-Temperaturziele die Metrik GWP₁₀₀ verwendet wird, wäre bei GWP₂₀ die angewandte Metrik nicht mehr mit den IPCC-Szenarien konsistent. Es müssten im Prinzip die gesamte Modellierungsarbeiten und Sachstandberichte des IPCC revidiert werden, um eine passende wissenschaftliche Basis zu haben, was aber wiederum nicht kompatibel mit dem Zeithorizont der IPCC-Modellierung der globalen effektive Strahlungsantriebe bis 2100 wäre.

2.3 GTP (verschiedene Zeithorizonte)

2.3.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund

Das „Global Temperature Change Potential“ (GTP) gibt die Wirkung der Emission eines Kilogramms einer Substanz auf die mittlere globale Temperatur am Ende einer bestimmten Zeitspanne an, im Vergleich zur Wirkung der Emission eines Kilogramms einer Referenzsubstanz. Als Referenzsubstanz (Referenzgas) wird normalerweise CO₂ verwendet; andere Substanzen können durch Multiplikation mit ihrem GTP in kg CO₂-Äquivalente umgerechnet werden. Das GTP-Konzept geht einen Schritt in der Ursache-Wirkungs-Kette weiter und betrachtet neben der Strahlungswirkung auch die Temperaturänderung. GTPs können für verschiedene Zeithorizonte bestimmt werden. Im fünften und sechsten IPCC-Sachstandsbericht sind GTPs unter anderem über 50 und 100 Jahre angegeben. Da nicht das Integral der Erwärmungswirkung über einen Zeitraum, sondern die Temperaturänderung am Endpunkt betrachtet wird, ist die Wahl des Betrachtungshorizontes für das GTP wesentlich entscheidender als für GWP und die Werte ändern sich sehr stark über die Zeithorizonte.

Da das GTP die Wirkung eines einmaligen Emissionspulses auf die globale Temperatur am Ende einer bestimmten Zeitspanne betrachtet, wird langlebigen Substanzen ein größeres Gewicht verliehen als kurzlebigen Substanzen, wenn Zeiträume von 50 oder 100 Jahren betrachtet werden. Die Wirkung kurzlebiger Substanzen bleibt nicht ganz unberücksichtigt, es wird jedoch nur jener Anteil der Substanz berücksichtigt, der am Ende der Zeitspanne in der Atmosphäre verbleibt. Es können auch Feedbacks berücksichtigt werden (z.B. die Wirkung einer kurzfristigen Erwärmung auf den globalen Kohlenstoffkreislauf und die daraus resultierenden zusätzlichen CO₂-Emissionen, wie im sechsten IPCC-Sachstandsbericht). Jedoch ist von einem Emissionspuls von CH₄ bei einer Lebensdauer von ca. 12 Jahren bei einem Betrachtungszeitraum von 50 oder 100 Jahren praktisch nichts mehr übrig, daher sind die GTP-Werte für CH₄ oder andere kurzlebige Gase bei Zeiträumen von 50 oder 100 Jahren auch sehr gering.

2.3.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile

Wie oben beschrieben geht das GTP-Konzept einen Schritt bei der Ursache-Wirkungs-Kette weiter und berücksichtigt neben der Strahlungswirkung auch die Temperaturänderung. Für diesen weiteren Schritt in der Ursache-Wirkungskette wird allerdings auch die Unsicherheit größer. Für CH₄ liegt die Unsicherheit des GWP₁₀₀ bei ± 40%, während die des GTP₁₀₀ bei ±60 % liegt. In Anhang 1 sind die GTP₂₀ und GTP₁₀₀-Werte für Methan aus dem AR5 und AR6 angegeben. Wie beim GWP sind Werte separat für fossiles und biogenes Methan verfügbar. Aus der Tabelle im Anhang ist ersichtlich, dass GTP₁₀₀ für Methan bedeutend geringer ist als GWP₁₀₀, da über einen Zeitraum von 100 Jahren ein Großteil des Methans in der Atmosphäre abgebaut wird.

Ebenso ist aus der Tabelle ersichtlich, dass GTP₂₀ für Methan in der Größenordnung von GWP₂₀ liegt, d.h. die Auswirkung einer Emission auf die Temperaturerhöhung in 20 Jahren ist in etwa gleich wie die Auswirkung auf die Erwärmung über einen Zeitraum von 20 Jahren, jeweils im Vergleich zu CO₂.

Um zu beurteilen, inwieweit Emissionsreduktionen zur Einhaltung des Temperaturziels unter dem Übereinkommen von Paris beitragen, kann GTP hilfreich sein. GTP₂₀ und GTP₅₀ sind ein Maß dafür, welchen Beitrag eine Emission zur globalen Temperatur in 20 oder 50 Jahren hat, also in einem Zeitraum, in dem die globale Temperatur sich einem Plateau nähern muss, damit das Temperaturziel des Übereinkommens von Paris erreicht werden kann.

Nachdem die Werte des GTP stärker vom Betrachtungszeitraum abhängen als beim GWP, ist es deutlich schwieriger für das Ziel der Vergleichbarkeit globaler Minderungsziele das „richtige“ GTP unter dem Pariser Übereinkommen zu wählen. GTP₁₀₀-Werte berücksichtigen, was von einem Emissionspuls in 100 Jahren noch verbleibt und korrespondieren daher nicht mit den aktuellen politischen Fragen unter dem Pariser Übereinkommen, wo die aktuellen NDCs meist einen Zeithorizont bis 2030 haben und die Langfriststrategien bis 2050. D.h. ein Vergleich von GWP₁₀₀-Werten mit GTP₁₀₀-Werten ist irreführend aufgrund der Unterschiede in der mathematischen Berechnung.

Bei einer Sonderveranstaltung des IPCC zu Metriken auf der Tagung der Nebenorgane im Juni 2014 wurde von den beteiligten Wissenschaftlern erklärt, dass die geeignetste Wahl des Zeithorizonts für GTPs im Hinblick auf das Ziel, den globalen Temperaturanstieg auf 2°C zu begrenzen, 40 bis 60 Jahre betragen würde. Im Beitrag der Arbeitsgruppe III zum sechsten IPCC-Sachstandberichts (2022, Kapitel 2, cross-chapter box 2) wird ein „dynamisches GTP“ diskutiert, das die Temperaturänderung in einem bestimmten zukünftigen Jahr betrachtet (z.B. im erwarteten Jahr des Temperaturmaximums für ein bestimmtes Temperaturziel). So würde z.B. bei Emissionen im Jahr 2020 ein GTP₄₀ einem dynamischen GTP für das Jahr 2060 entsprechen. Im Beitrag der Arbeitsgruppe III wird ausgeführt, dass die Verwendung des dynamischen GTP anstatt des GWP₁₀₀ in der Theorie die globalen Minderungskosten reduzieren kann, dass dies jedoch vom Temperaturziel, von einer vorausschauenden Politik und von der Flexibilität in der Wahl der Maßnahmen abhängig ist.

Zudem wurde bereits unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Übereinkommen von Paris festgelegt, dass für Inventare GWP₁₀₀ verwendet werden muss. Auch die aktuellen Minderungsszenarien des IPCC sowie verschiedene Emissionshandelssysteme beruhen auf GWP₁₀₀, sodass ein Wechsel der Metrik mit großen Schwierigkeiten verbunden wäre.

Alle metrischen Werte müssen im Laufe der Zeit aufgrund sich ändernder atmosphärischer Bedingungen sowie verbesserter Eingabedaten aktualisiert werden (IPCC 2014). Allerdings werden sich dynamische GTP-Werte stärker verändern als die GWPs. Je näher das Zieljahr des dynamischen GTPs (z.B. das globale Temperaturmaximum) rückt, desto relevanter werden

kurzlebige Substanzen für die globale Temperaturänderung und die dynamischen GTP-Werte für kurzlebige Substanzen werden dann deutlich steigen. Metriken, die im Laufe der Zeit schwankende "Umwandlungsraten" aufweisen, werden die politischen Entscheidungsträger vor Herausforderungen stellen, insbesondere bei der Gestaltung langfristiger Strategien für niedrige Emissionen.

Neben der Metrik GTP wurde auch die Metrik „Integrated Global Temperature Potential“ (iGTP, Peters et al. 2011) vorgeschlagen. Diese integriert die Temperaturänderung (in °C) über einen bestimmten Zeitraum, ähnlich wie das GWP, das die Erwärmungswirkung (in W/m²) über einen bestimmten Zeitraum integriert. iGTP-Werte sind in den meisten Fällen sehr ähnlich wie GWP-Werte. Dabei zeigt sich, dass der Unterschied zwischen beiden Konzepten stark von der zugrundeliegenden mathematischen Funktion abhängt und weniger von der Tatsache, dass GTP sich direkt auf das Temperaturziel bezieht.

2.3.3 Welchen Einfluss hat GTP auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?

Da GTP die Erwärmungswirkung zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft betrachtet und Methan eine geringe Lebensdauer in der Atmosphäre im Vergleich zu CO₂ hat, wird die Gewichtung von Methan geringer, je größer der Zeithorizont ist. So beträgt (gemäß AR5) der GTP₁₀₀-Wert für Methan 4 im Vergleich zum GWP₁₀₀-Wert von 28. Wie oben ausgeführt, ändern sich dynamische GTP-Werte stark mit der Zeit.

2.3.4 Argumente

Es wird argumentiert, dass das GTP eine geeignete Metrik im Zusammenhang mit dem Temperaturziel unter dem Übereinkommen von Paris darstellt, da für die Einhaltung des Temperaturziels die Wirkung von Emissionen auf die Temperaturänderung relevant ist und diese Wirkung durch GTP besser ausgedrückt wird. Es wird außerdem argumentiert, dass GWP₁₀₀ den Beitrag von CH₄ überschätzt und den von CO₂ unterschätzt.

2.3.5 Was würde es bedeuten, wenn andere Metriken für die Politikdiskussion verwendet werden?

Wie in Abschnitt 2.2.5 erwähnt, hängt die Auswahl von Minderungsmaßnahmen von vielen Faktoren ab. Die verwendete Metrik kann aber auch eine Rolle in der Priorisierung der Maßnahmen spielen. Würde GTP₁₀₀ statt GWP₁₀₀ für die Priorisierung von Maßnahmen verwendet, so würden Maßnahmen zur CO₂-Reduktion gegenüber Maßnahmen zur Methanreduktion stärker priorisiert. Allerdings ist wie oben beschrieben der Zeithorizont von 100 Jahren für das GTP im Rahmen des Pariser Übereinkommens nicht der adäquate Zeithorizont.

2.4 GWP* und Varianten

2.4.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund

Im IPCC-Bericht zum 1,5-Grad-Ziel (IPCC 2018) wurde das zusätzliche GWP*-Konzept vorgestellt, bei dem eine dauerhafte Änderung des Emissionsniveaus eines kurzlebigen Treibhausgases gleichgesetzt wird mit einem einmaligen Puls (Emissionserhöhung bzw. -senkung) von CO₂. Liegen z.B. die Methanemissionen in einem bestimmten Jahr um eine Tonne CO₂-Äquivalent niedriger als

im Ausgangsjahr, so wird dies gleichgesetzt mit einer einmaligen Emissions-Einsparung von einer Tonne CO₂ in diesem Jahr. Als Ausgangsjahr wird oft das Jahr t-20 verwendet.

Für GWP* wurde auch eine Modifikation vorgeschlagen, um den Einfluss der Treibhausgasemissionen auf die globale Durchschnittstemperatur (anstatt auf die kumulierte Erwärmung) abzubilden (Cain et al. 2019). Nach diesem Ansatz werden sogenannte „CO₂ warming equivalents“ berechnet. Eine gute Erläuterung des GWP*-Ansatzes findet sich in Lynch et al. (2020). Neben der Behandlung von Methanemission wird GWP* auch für Emissionen des Luftverkehrs vorgeschlagen, da die Nicht-CO₂-Effekte und insbesondere die Wolkenbildung nur eine sehr kurze Lebensdauer haben (Lee et al. 2021).

2.4.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile

Das GWP*-Konzept ermöglicht ein besseres Verständnis für die kurzfristigen Auswirkungen von Emissionsänderungen auf globaler Ebene. Nach Aussagen der Autoren gibt GWP* die Auswirkungen der Emissionen sowohl langlebiger als auch kurzlebiger Schadstoffe auf den Strahlungsantrieb und die Temperaturen über einen weiten Zeitbereich genauer an als durch GWP oder GTP, insbesondere bei ambitionierter Minderung. Bei langfristigen Betrachtungen haben nur eine steigende Methan-Emission eine zusätzliche Temperaturerhöhung zur Folge, da das kurzlebige Methan über einen Zeitraum von rund 12 Jahre abgebaut wird und nicht mehr weiter temperaturerhöhend wirkt. Konstante Emissionen führen zu konstanter atmosphärischer Konzentration und damit einer einmaligen Temperaturerhöhung. Dauerhaft gleichbleibende CH₄-Emissionen führten also nicht zu einem kontinuierlichen zusätzlichen Temperaturanstieg. Im GWP*-Ansatz würden konstante Methan-Emissionen aber so wie langlebige Gase behandelt und so bewertet, als ob sie zu zusätzlicher Erwärmung führen würden.

Langfristig bzw. auf nationaler Ebene ergeben sich jedoch Nachteile. Wird GWP* für die Berechnung der Gesamtemissionen verwendet, so würden negative Emissionen berichtet werden, wenn Methanemissionen im Vergleich zur Vergangenheit reduziert werden. Ambitionierte Reduktionsziele könnten dadurch rechnerisch erreicht werden, ohne die CO₂-Emissionen zu senken. Für die Einhaltung des langfristigen Temperaturziels ist dies kontraproduktiv: Kurzfristige Änderungen in den Methanemissionen gegenüber der Vergangenheit haben langfristig geringe Auswirkungen auf die globale Temperatur, während CO₂-Emissionen aufgrund der langen Aufenthaltsdauer von CO₂ in der Atmosphäre auch langfristig die Einhaltung des Temperaturziels erschweren.

Die Anwendung von GWP* auf nationaler Ebene hat den Nachteil, dass Länder mit historisch hohen Emissionen bevorzugt und Länder mit historisch niedrigen Emissionen benachteiligt werden. Wie Tabelle 2 beispielhaft zeigt, ergeben sich bei Ländern, in denen die Methanemissionen im Vergleich zur Vergangenheit zunahm (z.B. Russische Föderation, Brasilien), relativ hohe Emissionen (in CO₂-Äquivalent) pro Einwohner. Bei Ländern, die ihre Emissionen im Vergleich zur Vergangenheit reduzierten, ergeben sich negative Emissionen. Im Beispiel in Tabelle 2 ergeben sich für Australien um 7 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Person geringere Emissionen bei der Anwendung des GWP*-Ansatzes anstatt des GWP₁₀₀-Ansatzes.

Tabelle 2: Methanemissionen im Jahr 2015 pro Einwohner unter Verwendung von GWP₁₀₀ bzw. GWP*

Land	Methanemissionen pro Einwohner in Tonnen CO ₂ -Äquivalent	
	Unter Verwendung von GWP ₁₀₀	Unter Verwendung von GWP*
Russische Föderation	6,5	8,0
Australien	4,8	-2,2
USA	2,3	-1,8
Brasilien	2,2	2,8

Gewähltes Ausgangsjahr: 1995 (t-20)

Quelle: Rogelj und Schleussner (2019)

Da bei GWP* das aktuelle Emissionsniveau mit dem von vor 20 Jahren verglichen wird, ist eine lange Zeitreihe zur Emissionsberechnung notwendig. Für Industrieländer, die vollständige Inventare ab dem Jahr 1990 unter der Klimarahmenkonvention berichten, kann GWP* für den Zeitraum ab 2010 berechnet werden. Viele Entwicklungsländer haben aber weiterhin keine vollständigen und konsistenten Emissionsinventare seit 1990, d.h. GWP* kann nur für wenige Jahre bzw. sogar gar nicht berechnet werden. Viele nicht-staatliche Akteure, die ihre Emissionen berichten und sich Ziele gesetzt haben, wären ebenfalls nicht in der Lage, die GWP*-Metrik zu verwenden.

2.4.3 Welchen Einfluss hat GWP* auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?

Die Anwendung von GWP* liefert einen Anreiz, Methanemissionen gegenüber der Vergangenheit zu reduzieren. Länder mit historisch hohen Methanemissionen können damit ihre berechneten Treibhausgasemissionen (ausgedrückt in CO₂-Äquivalent nach GWP*) reduzieren, ohne ihre CO₂-Emissionen reduzieren zu müssen.

2.4.4 Argumente

Es wird argumentiert, dass bei der Anwendung von GWP₁₀₀ der Einfluss von Methanemissionen auf die langfristige Temperaturerhöhung überschätzt wird, und dass GWP* dafür besser geeignet ist.

Dabei ist zu beachten, dass bei einer Umstellung auf GWP* der Einfluss von Methanemissionen in vielen Fällen im Vergleich zu anderen Metriken unterschätzt würde. Insbesondere in Ländern mit historisch hohen Methanemissionen hätte dieser Ansatz zur Folge, dass sowohl Methan- als auch CO₂-Emissionen weniger reduziert würden, als dies bei der Anwendung anderer Metriken der Fall ist. Allerdings gehen die Autoren des Konzepts auch insbesondere auf die Situation von ambitionierten Minderungsszenarien ein, in denen GWP und GTP nicht mehr angemessen die Rolle der kurzlebigen Gase für die Temperaturerhöhung widerspiegeln.

Es wird auch vorgebracht, dass Maßnahmen zur Reduktion von Methanemissionen zu einer „Kühlung“ der Atmosphäre führen. Dies muss insofern präzisiert werden, dass durch die Reduktion von Methanemissionen der Anstieg der globalen Temperatur kurzfristig verlangsamt werden kann. Die globale Temperatur steigt aber langfristig stärker an, wenn Maßnahmen zur Reduktion von CO₂ zugunsten von Maßnahmen zur Reduktion von Methan zurückgestellt werden.

2.4.5 Was würde es bedeuten, wenn GWP* für die Politikdiskussion verwendet wird?

Wenn GWP* für die Priorisierung von Maßnahmen verwendet wird, so wird der Fokus auf die Reduktion von Methanemissionen gegenüber dem Ausgangsniveau gelegt. Werden die Methanemission gegenüber der Vergangenheit gesenkt, so wird GWP* negativ. Durch ein negatives GWP* ließen sich die Emissionen (ausgedrückt in CO₂-Äquivalent) rechnerisch auf null setzen, obwohl absolute Methanemissionen und absolute CO₂-Emissionen verbleiben. Durch Maßnahmen, die ausschließlich GWP* minimieren, ließe sich weder das Ziel der Treibhausgasneutralität noch das Temperaturziel unter dem Übereinkommen von Paris erreichen.

2.5 Combined-GTP (CGTP)

2.5.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund

Das „Combined Global Temperature Change Potential“ (CGTP) stellt eine weitere Möglichkeit neben GWP* dar, um die Wirkung lang- und kurzlebiger Treibhausgase vergleichbar zu machen. Das CGTP ist das absolute globale Temperaturänderungspotenzial (AGTP)⁹ einer Emissionsänderung, dividiert durch das AGTP von CO₂. Ähnlich wie im Fall des GWP* wird eine Änderung der Emissionsrate eines kurzlebigen Treibhausgases mit einem Emissionspuls von CO₂ verglichen.

2.5.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile

Das CGTP zeigt geringere Änderungen im Lauf der Zeit als das GTP. Es kann für jedes Treibhausgas berechnet werden, ist jedoch am wenigsten abhängig vom Zeithorizont für Treibhausgase mit einer Lebenszeit, die kürzer als die Hälfte des gewählten Zeithorizonts ist. Wird die Emissionsrate eines kurzlebigen Treibhausgases mit seinem CGTP multipliziert, so erhält man kumulierte Emissionen in CO₂-Äquivalenten.

2.5.3 Welchen Einfluss hat CGTP auf die Gewichtung von Methan bei Klimaschutzmaßnahmen?

Ähnlich wie bei GWP* liefert CGTP den Anreiz, Methanemissionen gegenüber der Vergangenheit zu reduzieren. Länder mit historisch hohen Methanemissionen können damit ihre berechneten Treibhausgasemissionen (ausgedrückt in CO₂-Äquivalent nach CGTP) reduzieren, ohne ihre CO₂-Emissionen reduzieren zu müssen.

2.5.4 Argumente

Wie bei der Metrik GWP* kann argumentiert werden, dass bei der Anwendung von GWP₁₀₀ der Einfluss von Methanemissionen auf die langfristige Temperaturerhöhung überschätzt wird, und dass CGTP dafür besser geeignet ist.

2.5.5 Was würde es bedeuten, wenn CGTP für die Politikdiskussion verwendet wird?

Das CGTP erlaubt es, die Wirkung auf die globale Temperatur einer langfristigen Änderung des Emissionsniveaus von Methan mit einem kurzfristigen Emissionsimpuls von CO₂ zu vergleichen. In der Politikdiskussion wird jedoch oft die Änderung des Emissionsniveaus von Methan („Maßnahme

⁹ Absolute Global Temperature Change Potential (AGTP): Änderung der mittleren globalen Temperatur am Ende einer definierten Zeitspanne durch die Emission eines Kilogrammes eines Treibhausgases.

A“) mit einer Änderung des Emissionsniveaus von CO₂ („Maßnahme B“) über ein Jahr oder wenige Jahre verglichen. Die Verwendung von CGTP erlaubt keinen direkten Vergleich zwischen der Wirkung dieser beiden Maßnahmen.

2.6 Separate Ziele für langlebige und kurzlebige Treibhausgase

2.6.1 Konzept und wissenschaftlicher Hintergrund

In den Aussagen der Wissenschaftler*innen des IPCC wurde mehrfach betont, dass es schwierig ist eine Metrik zu finden, die sowohl den Beitrag kurzlebiger Gase als auch den Beitrag langlebiger Treibhausgase auf die Temperaturerhöhung angemessen berücksichtigt und es wurde argumentiert, dass der „Korb-Ansatz“ des Kyoto-Protokolls, d.h. ein Minderungsziel für alle anthropogenen Treibhausgasemissionen festzulegen, das eigentlich Problem darstelle. Daher wurde empfohlen entweder jedes Treibhausgas separat zu behandeln oder zwei verschiedene „Körbe“ von Gasen zu verwenden – einen mit kurzlebigen Treibhausgasen und einen zweiten mit langlebigen Gasen, und für jeden Korb mit anderen Metriken zu rechnen.

2.6.2 Besonderheiten, Vor- und Nachteile

Der große Nachteil dieses Ansatzes ist es, dass es keine einfach verständlichen und vergleichbaren politischen Klimaziele mehr geben würde, die das Ergebnis des politischen Handelns der verschiedenen Staaten miteinander vergleichen. Der klaren politischen Botschaften würden eine Vielzahl von Einzelzielen oder zumindest zwei verschiedene Ziele für kurz- und langlebige Gase entgegengestellt. Dazu kommt, dass neben CH₄ eine Reihe von Klimatreibern wie NO_x und SO₂, Ruß und Wolkenbildung durch den Luftverkehr als kurzlebige Substanzen eine große Rolle spielen und teilweise auch eine kühlende Wirkung haben.

Diese Effekte sind aber nicht unbedingt global gleich verteilt, sondern können regional ablaufen. In der politischen Zielsetzung für die Minderung der anthropogenen Treibhausgasemissionen spielen die kurzlebigen Gase außer CH₄ derzeit gar keine Rolle. Ein Fokus auf einen „Korb“ an kurzlebigen Substanzen würde den Luftschadstoffen wie SO₂ oder NO_x plötzlich eine positive Klimawirkung anrechnen, was die Reduktionsbemühungen für diese Substanzen als Luftschadstoffe unterminieren könnte. Wichtige kurzlebige Substanzen wie Ruß, die zur Temperaturerhöhung beitragen, werden derzeit von den meisten Staaten nicht in ihren Treibhausgasinventaren erfasst, weil die Beziehungen zwischen Emissionen und Wirkungen nicht eindeutig geklärt sind und die Wirkungsweise von weiteren Faktoren abhängt. CH₄ wird daher in der wissenschaftlichen Diskussion als Indikatormaterial für eine Gruppe von kurzlebigen Substanzen verwendet, die in der politischen Klimadiskussion derzeit gar keine besondere Rolle spielen. Die unterschiedliche Wirkung in Abbildung 3 zeigt auch, dass es illusorisch wäre, ein gemeinsames Ziel für alle kurzlebigen Treibhausgase festzulegen, da deren Verhalten sehr unterschiedlich ist.

Abbildung 3: Temperaturveränderung durch Emissionen von unterschiedlichen Gasen sowie von Ruß (black carbon – BC)

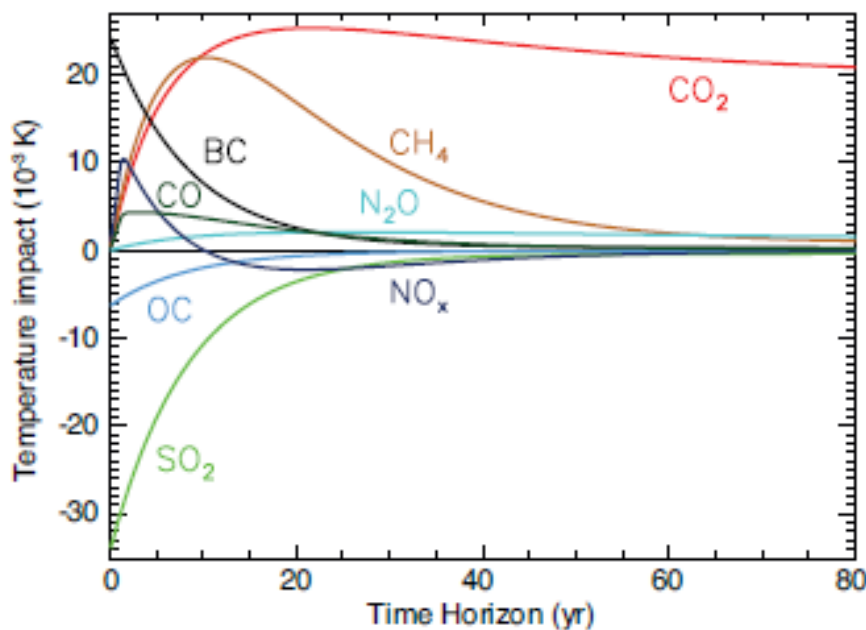


Figure 8.33 | Temperature response by component for total anthropogenic emissions for a 1-year pulse. Emission data for 2008 are taken from the EDGAR database and for BC and OC for 2005 from Shindell et al. (2012a). There are large uncertainties related to the AGTP values and consequentially also to the calculated temperature responses (see text).

Quelle: Myhre et al. (2013)

Außerdem ist die hinter solch einem differenzierten Ansatz liegende wissenschaftliche Diskussion für diese Vorgehensweise der allgemeinen Öffentlichkeit kaum vermittelbar, was die Wissenschaftlichkeit der Szenarien anfechtbar machen könnte und auch wie oben beschrieben verschiedenen Lobbyinteressen Hebel liefern würde, um zu verhindern, dass bestimmte Treibhausgasquellen in den Fokus der Minderungsstrategien genommen werden.

2.6.3 Argumente

Es wird mit dem Montreal-Protokoll argumentiert, dass einzelne Substanzen bzw. Substanzgruppen reguliert, diese aber nicht zu einem Ziel zusammenfasst. Dieser Vergleich hinkt jedoch, da das Montreal-Protokoll vom Menschen produzierte künstliche Einzelsubstanzen reguliert, die relativ wenige, definierte Anwendungsbereiche haben, für die jeweils Ersatzstoffe vorliegen, so dass einzelne Substanzen in den jeweiligen Einsatzbereichen reduziert und durch die Ersatzsubstanzen ersetzt werden können. Dabei ist eine Betrachtung einzelner Stoffe sinnvoll.

Bei den Treibhausgasemissionen gibt es dagegen eine Vielzahl an vom Menschen beeinflussten Emissionsquellen, die aber eigentlich natürliche Prozesse als Ursache haben und in denen aus der gleichen natürlichen Reaktion kurzlebiges CH₄ und langlebiges N₂O emittiert werden. Dazu gehören beispielsweise die Güllewirtschaft (CH₄- und N₂O-Emissionen durch Abbauprozesse), oder Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden. Bei Verbrennungsprozessen werden zwar

hauptsächlich CO₂-Emissionen, aber auch CH₄ und N₂O frei. Es scheint wenig praktikabel, die CH₄-Emissionen jeweils in einen anderen „Korb“ von kurzlebigen Emissionen mit eigenen Zielen zu packen, wenn die Minderung an der gleichen Ursache ansetzen muss.

2.6.4 Was würde es bedeuten, wenn separate Ziele für langlebige und kurzlebige Treibhausgase eingeführt werden?

Einzelziele für die unterschiedlichen Treibhausgase, die bei den fluorierten Gasen eine große Zahl an Einzelsubstanzen umfassen, wären für eine politische Diskussion und auch für den internationalen Verhandlungsprozess extrem komplex. Partikularinteressen in Form von speziellen Lobbygruppen hätten wesentlich bessere Ansatzpunkte und wären wahrscheinlich wesentlich wirkmächtiger, da kaum jemand mehr die Übersicht behalten würde. Bestimmte Aktivitäten (z.B. die Verbrennungsprozesse in Kraftwerken), die drei verschiedene Treibhausgase emittieren, würden dann drei verschiedenen Zielen unterliegen, die nicht mehr flexibel untereinander ausgeglichen werden können, was die Komplexität für die Anlagenbetreiber deutlich erhöhen würde. Es wäre auch unklar, welche Metrik anstelle von GWP₁₀₀ für die kurzlebigen Gase verwendet werden sollte.

Im Sechsten Sachstandsbericht des IPCC (WG I, Box 7.3) wird darauf hingewiesen, dass in den meisten NDCs ein Emissionsziel für das Jahr 2030 in CO₂-Äquivalenten angegeben wird, ohne dass spezifiziert wird, welche Gase zu den Emissionen bis zum Jahr 2030 beitragen werden. Die langfristige Temperaturänderung und damit die Einhaltung des Temperaturziels hängt jedoch davon ab, in welchem Verhältnis kurz- bzw. langlebige Gase emittiert werden. Der IPCC weist deshalb darauf hin, dass die Auswirkung von Emissionspfaden auf die globale Erwärmung transparenter dargestellt werden könnte, indem die Emissionspfade für einzelne Gase separat angegeben werden, anstatt ausschließlich als Summe aller Gase in CO₂-Äquivalenten unter Verwendung des GWP₁₀₀. Alternativ könnten kumulierten Emissionen in CO₂-Äquivalenten angegeben werden, sofern die Emissionen der nicht-CO₂-Gase mit Hilfe des GWP* oder des CGTP in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden (IPCC 2021).

2.7 Vergleichende Übersicht

In der folgenden Tabelle werden die Metriken anhand der in Kapitel 1 eingeführten Kriterien verglichen.

Tabelle 3: Vergleich der Metriken anhand von Kriterien

	GWP₁₀₀	GWP₂₀	GTP	GWP*	CGTP
Robuste wissenschaftliche Grundlage	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden, jedoch höhere Unsicherheit	Vorhanden, jedoch Bedarf für methodische Anpassungen	Vorhanden, jedoch höhere Unsicherheit
Vereinbarkeit mit übergeordneten Zielen (z.B. Temperaturziel)	Gegeben	Nicht gegeben für langfristiges Temperaturziel	Nur gegeben, wenn Zeithorizont von 40-60 Jahren gewählt wird; nicht gegeben, wenn GTP ₁₀₀ gewählt wird	Nicht gegeben für langfristiges Temperaturziel	Nur gegeben, wenn Zeithorizont von 40-60 Jahren gewählt wird
Unterstützt die Festlegung von Minderungszielen und das Verfolgen des Fortschritts bei der Umsetzung in den Handlungszeiträumen des Pariser Übereinkommens	Gegeben	Nicht gegeben	Nur gegeben, wenn Zeithorizont von 40-60 Jahren gewählt wird; nicht gegeben, wenn GTP ₁₀₀ gewählt wird	Gegeben	Nur gegeben, wenn Zeithorizont von 40-60 Jahren gewählt wird
Unterstützt die Priorisierung von Minderungsstrategien und die Auswahl von Maßnahmen	Gegeben	Nicht gegeben	Nur gegeben, wenn Zeithorizont von 40-60 Jahren gewählt wird; nicht gegeben, wenn GTP ₁₀₀ gewählt wird	Eher nicht gegeben	Eher nicht gegeben

	GWP₁₀₀	GWP₂₀	GTP	GWP*	CGTP
Robuste Grundlage für den Emissionshandel	Erfüllt	Nicht erfüllt, da nicht etabliert	Nicht erfüllt, da nicht etabliert	Nicht erfüllt, da methodische Schwierigkeiten, z.B. negative Werte für GWP*	Nicht erfüllt, da nicht etabliert
Anerkannte Quellen für Referenzwerte	Gegeben	Derzeit noch gegeben, künftig wahrscheinlich nicht mehr	Gegeben	Derzeit nicht gegeben	Gegeben
Möglichst stabile Werte mit geringen Veränderungen über Planungszeiträume von ca. 25-50 Jahren	Gegeben	Nicht gegeben	Nicht gegeben	Nicht gegeben	Gegeben
Vermeidung von nicht intendierten Konsequenzen	Erfüllt	Nicht erfüllt. Gefahr, dass CO ₂ -Emissionen nicht ausreichend reduziert werden.	Erfüllt	Nicht erfüllt. Gefahr, dass CO ₂ -Emissionen nicht ausreichend reduziert werden.	Nicht erfüllt. Gefahr, dass CO ₂ -Emissionen nicht ausreichend reduziert werden.

2.8 Schlussfolgerungen aus dem Vergleich der Metriken

Aus dem Vergleich in Tabelle 3 geht hervor, dass das GWP_{100} die aufgelisteten Kriterien am besten erfüllt. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass es sich um eine etablierte Metrik handelt, für die robuste wissenschaftliche Grundlagen vorhanden sind, und die bereits in Treibhausgasinventaren und Emissionshandelssystemen verwendet wird. Außerdem ist das GWP mit einem Zeithorizont von 100 Jahren geeignet, um eine langfristige Klimaschutzplanung zu unterstützen.

Werden Metriken mit einem kürzeren Zeithorizont – wie etwa das GWP_{20} – verwendet, so bleibt die langfristige Wirkung von Treibhausgasen unberücksichtigt. Dies ist problematisch, da verschiedene Treibhausgase, insbesondere CO_2 , eine lange Aufenthaltsdauer in der Atmosphäre aufweisen. Jede zusätzliche Emission dieser Gase erschwert es, die globale Temperatur langfristig zu stabilisieren.

Das GTP, das die Wirkung eines Treibhausgases auf die Temperatur am Ende eines definierten Zeitraums betrachtet, ist mit höheren Unsicherheiten als das GWP verbunden. Bei der Verwendung dieser Metriken ist es wichtig, den gewählten Zeithorizont an den Zeithorizont für das Temperaturziel anzupassen. So muss für die Einhaltung des Temperaturziels unter dem Übereinkommen von Paris ein Maximum der Temperatur bereits in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts erreicht werden. Ein Zeithorizont von 100 Jahren wäre dafür nicht adäquat.

Die Metrik GWP^* fokussiert auf die Änderung der Emissionen kurzlebiger Substanzen im Vergleich zu historischen Emissionen. Werden in einem Land die Methanemissionen gegenüber der Vergangenheit gesenkt, so wird GWP^* negativ. Durch ein negatives GWP^* ließen sich die Emissionen (ausgedrückt in CO_2 -Äquivalent) rechnerisch auf null setzen, obwohl absolute Methanemissionen und absolute CO_2 -Emissionen verbleiben. Dies erschwert eine Verwendung dieser Metrik für die Klimaschutzplanung.

Die Verwendung von separaten Zielen für unterschiedliche Treibhausgase wäre für eine politische Diskussion komplex, da einzelne Aktivitäten mehreren Zielen unterliegen würden. Die Angabe von Emissionspfaden separat für einzelne Gase könnte aber dazu beitragen, die Auswirkung von Zielpfaden auf die globale Erwärmung transparenter darzustellen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Treibhauspotential GWP_{100} die Kriterien für eine Metrik gut erfüllt. Für Treibhausgasinventare unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Übereinkommen von Paris ist GWP_{100} die etablierte Metrik. Für die Priorisierung von Maßnahmen zur Einhaltung von Klimazielen stellt es eine gute Wahl dar, da es langfristig ausgelegt ist und auf einer robusten wissenschaftlichen Grundlage basiert. Die Anwendung weiterer Metriken kann für verschiedene Fragestellungen nützlich sein, muss jedoch im Einzelfall kritisch hinterfragt werden. Bei der Anwendung von Metriken für die Quantifizierungen von Treibhausgasemissionen, die von den Festlegungen unter dem Übereinkommen von Paris abweichen, sollte klar gekennzeichnet werden und es sollte auch dargestellt werden, für welche Sektoren oder Akteure die gewählten alternativen Metriken vorteilhaft sind.

3 Ausblick

Mit den Entscheidungen zu Treibhausgasinventaren und Metriken bei der Klimakonferenz in Sharm El-Sheikh im November 2022 (vgl. Tabelle 1) haben sich die Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention zum ersten Mal auf einheitliche Metriken für die Treibhausgasinventare aller Länder geeinigt. Die Verwendung des GWP₁₀₀ aus dem fünften Sachstandsbericht des IPCC war bereits im Jahr 2018 für Inventare unter dem Übereinkommen von Paris festgelegt worden. Spätestens Ende 2024 gelten dieselben Metriken auch für alle Treibhausgasinventare unter der Klimarahmenkonvention.

Das Wissen zu Metriken entwickelt sich weiter. Im sechsten Sachstandsbericht des IPCC wurden neue Werte für die wichtigsten Metriken veröffentlicht. Für Methan unterscheiden sich diese jedoch nur wenig von den Werten im Vorgängerbericht. In der laufende NDC-Periode 2021-2030 werden die derzeitigen Metriken in nationalen Berichten beibehalten. Die Regeln für die Berichterstattung unter dem Übereinkommen von Paris nach 2030 werden spätestens 2028 vom Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Beratung (SBSTA) überprüft und ggf. revidiert (UNFCCC 2018, Paragraph 2).

Anhang: Überblick über Metriken für Methanemissionen

Tabelle 4: Metriken für Methanemissionen im Fünften und Sechsten Sachstandsbericht des IPCC

	Fünfter IPCC-Sachstandsbericht (Werte unter Berücksichtigung von „Climate-carbon feedback“ für CO ₂ , aber nicht für Methan)		Sechster IPCC-Sachstandsbericht (Werte unter Berücksichtigung von „Climate-carbon feedback“ für CO ₂ und Methan)	
	Methan	Fossiles Methan	Nicht-fossiles Methan	Fossiles Methan
GWP ₁₀₀	28	30	27,0	29,8
GWP ₂₀	84	85	79,7	82,5
GTP ₁₀₀	4	6	4,7	7,5
GTP ₅₀	14	15	10,4	13,2
GTP ₂₀	67	68	Nicht in diesem Bericht publiziert	
GWP*	Keine einheitlichen Werte; abhängig von historischen Emissionen.			

Quelle: IPCC (2013), Tabelle 8.7.; IPCC (2021), Tabelle 7.15

Der Wert von 28 für das GWP₁₀₀ von Methan wird ab 2023/2024 für Treibhausgasinventare verwendet (vgl. Tabelle 1).

Für den Hintergrund zu „climate-carbon feedback“ und zu fossilem Methan siehe Box 1 in Abschnitt 2.1.2.

Literaturverzeichnis

- Cain, M.; Lynch, J.; Allen, M. R.; Fuglestvedt, J. S.; Frame, D.; Macey, A. H. (2019): Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. In: *npj Climate and Atmospheric Science* 2 (29). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4>
- Cambridge University Press (2022) *Climate Change and Land: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*: Cambridge University Press.
- EC - European Commission (2020): Communication from the European Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy to reduce methane emissions, COM(2020) 663 final. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0663&qid=1629199512293>
- EC - European Commission (2021): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on methane emissions reduction in the energy sector and amending Regulation (EU) 2019/942, COM(2021) 805 final. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021PC0805&from=EN>
- Forster; Ramaswamy; Artaxo; Berntsen; Betts; Fahey; Haywood; Lean; Lowe; Myhre; Nganga; Prinn; Raga et al. (2007): Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing (Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC. Cambridge University Press (Hg.). Cambridge UK and New York USA. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf>
- Höhne, N.; Blok, K. (2005): Calculating Historical Contributions To Climate Change - Discussing The 'Brazilian Proposal'. In: *Clim.Change* 71 (1), S. 141–173.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Hg. v. Bernd Metz, Ogunlade Davidson, Rob Swart und Jiahua Pan. Cambridge: Cambridge University Press. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg3/>.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC (Hg.). Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf, zuletzt geprüft am 26.11.2020.
- 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*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland. Online verfügbar unter <https://archive.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

- IPCC (2018): Global warming of 1.5°C, An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf.
- 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. Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.). Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf, zuletzt geprüft am 31.08.2021.
- Lee, D. S.; Fahey, D. W.; Skowron, A.; Allen, M. R.; Burkhardt, U.; Chen, Q.; Doherty, S. J.; Freeman, S.; Forster, P. M.; Fuglestedt, J.; Gettelman, A.; León, R. R. de; Lim, L. L. et al. (2021): The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment* 244, S. 117834. DOI: 10.1016/J.ATMOENV.2020.117834.
- Lynch, J.; Cain, Michelle, Pierrehumbert, Raymond; Allen, M. (2020): Demonstrating GWP*: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants. In: *Environmental Research Letters* 15, S. 44023.
- Myhre, G.; D. Shindell; F.-M. Bréon; W. Collins; J. Fuglestedt; J. Huang; D. Koch; J.-F. Lamarque; D. Lee; B. Mendoza; T. Nakajima; A. Robock, et al. (2013): Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. Stocker, T. F.; D. Qin; G.-K. Plattner; M. Tignor; S.K. Allen; J. Boschung; A. Nauels et al. (Hg.). Online verfügbar unter http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
- Peters, G. P.; Aamaas, B.; Berntsen, T.; Fuglestedt, J. S. (2011): The integrated global temperature change potential (iGTP) and relationships between emission metrics. In: *Environ. Res. Lett.* 6 (4), S. 44021. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/044021.
- Rogelj, J.; Schleussner, C.-F. (2019): Unintentional unfairness when applying new greenhouse gas emissions metrics at country level. In: *Environ. Res. Lett.* 14 (11), S. 114039. DOI: 10.1088/1748-9326/ab4928.
- UBA (2022): *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2022, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2020 (Climate Change, 24/2022)*. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-05-31_climate-change_24-2022_nir-2022_de.pdf
- UNFCCC (2018): Decision 18/CMA.1 - Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement. FCCC/PA/CMA/2018/3/Add.2, p.13. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/193408>