

Methan – das unterschätzte Klimagas

Martin Kreuzburg, entpfl. Professor, Fakultät Physik Universität Regensburg

29.3.2020, revidiert am 26.9.2020

Abstract: Zunächst wird erklärt, was unter dem Begriff Global Warming Potential (GWP) eines atmosphärischen Spurengases zu verstehen ist. Die Wirksamkeit eines Gases steigt mit der Verweildauer in der Atmosphäre an. Es ist üblich, sie auf das Leitklimagas CO₂ zu beziehen und definiert so das GWP, das mit der Zeit abnimmt. Dabei führt die Betrachtung der relativen Wirkung eines einmaligen Eintrages in einem bestimmten Zeitraum (Zeithorizont) zum gleichen Ergebnis wie bei dem realistischeren kontinuierlichen Eintrag. Für das zweitwichtigste Klimagas Methan ergibt sich in Übereinstimmung mit den gegenwärtigen Messdaten eine relative Klimawirksamkeit $GWP(0) = 56$ und für die nächsten 10 Jahre ist das $GWP(10) = 41$. Die Verluste bei Förderung und Transport von Erdgas mit Methan als Hauptbestandteil können bis zu 10 % und mehr betragen. Schon bei 2 bis 2,5 % verliert das Erdgas seinen Klimavorteil gegenüber der Kohle oder Öl und stellt deshalb klimatisch einen schlechten Ersatz dar.

Das GWP

Das Global Warming Potential GWP ist ein relatives Mass für die Gesamtwirksamkeit eines Gases G bei einmaligem Eintrag $m_G(0)$ in die Atmosphäre integriert über einen Zeitraum T . Bliebe das Gas G immer in der Atmosphäre, so würde die Wirksamkeit linear mit der Zeit anwachsen. Wegen der endlichen Verweildauer mit der Halb-Abbauezeit $t_{1/2}$ nimmt die Menge m jedoch mit der Zeit ab gemäss

$$m_G(t) = m_G(0) e^{-k(G)t} \text{ mit der Zerfallskonstanten } k(G)=0,693/(t_{1/2}),$$

so dass bis zum Jahr T (der sog. Zeithorizont) insgesamt die Menge M_G

$$M_G(T) = \int_0^T m_G(t) dt = m_G(0) \int_0^T e^{-k(G)t} dt = \frac{m_G(0)}{-k(G)} (e^{-k(G)T} - 1)$$

gewirkt hat.* Das Potential P_G des Gases G ist die Wirksamkeit W_G eines Moleküls mal seine Menge M_G :

$$P_G = W_G * M_G$$

und damit das GWP von Methan CH₄ relativ zur gleichen Menge (Molekülanzahl) des CO₂

$$GWP(T) = \frac{P_{CH_4}}{P_{CO_2}} = \frac{W_{CH_4}}{W_{CO_2}} * \frac{M_{CH_4}(T)}{M_{CO_2}(T)} = \frac{W_{CH_4}}{W_{CO_2}} * \frac{m_{CH_4}(0)}{m_{CO_2}(0)} * \frac{k(CO_2)}{k(CH_4)} * \frac{1 - e^{-k(CH_4)T}}{1 - e^{-k(CO_2)T}}$$

Beim Eintrag ($T=0$) ist das Produkt der beiden letzten Brüche gleich 1, so dass für das Anfangs-Global Warming Potential gilt:

$$GWP(0) = \frac{W_{CH_4}}{W_{CO_2}} * \frac{m_{CH_4}(0)}{m_{CO_2}(0)}$$

*Dies ist gleichzeitig der Ausdruck für die nach T Jahren bei konstantem Eintrag vorhandene Menge des betreffenden Treibhausgases.

Wird das GWP auf die Menge m der beiden Gase, also auf die **Volumenanteile** bzw. Mol in der Atmosphäre bezogen, so ist

$$\frac{m_{CH_4(0)}}{m_{CO_2(0)}} = 1.$$

Das Verhältnis $\frac{W_{CH_4}}{W_{CO_2}}$ der Klimawirksamkeiten W_G berechnet sich aus den Klimadaten, z.B. vom Umweltbundesamt UBA, zu

$$GWP_V(0) = 56$$

d.h. 1 Molekül CH_4 ist 56-mal klimawirksamer als 1 Molekül CO_2 .

Beim Bezug auf die **Massen**, wie bei den Arbeiten des IPCC, gilt jedoch $\frac{m_{CH_4(0)}}{m_{CO_2(0)}} = 2,75$, weil das CO_2 -Molekül 2,75 mal schwerer als das CH_4 -Molekül ist. Zur Vergleichbarkeit müssen also die z. B. von Vijaysinh Jadhav (2016)²⁾ zitierten massebezogenen Werte GWP_m auf die Mol-bezogenen Werte GWP_V skaliert werden:

Zeithorizont T	GWP_m	GWP_V
20 Jahre	84	31
100 Jahre	28	10

Tabelle 1: Global Warming Potential GWP bezogen auf Masse bzw. Mol

Mit den obigen Formeln und den von V.J. verwendeten Verweildauern $t_{1/2}$ für CH_4 von 12,4 und für CO_2 von 120 Jahren berechnet sich daraus das Anfangs-Global Warming Potential $GWP_V(0)$ zu 48 bzw. 43, je nachdem, welcher Zeithorizont T benutzt wurde, Tabelle 2.

Diese unterschiedlichen Werte lassen sich in Übereinstimmung bringen, wenn man bei der Berechnung des GWP (siehe Tab. 1) statt 12,4 Jahre 9,5 Jahre für die Verweildauer des Methans annimmt, was noch innerhalb der Unsicherheiten in der Literatur von bis zu 30 % liegt. Dann stimmen beide überein, wie in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt.

		$t_{1/2} = 12,4 \text{ a}$	$t_{1/2} = 9,5 \text{ a}$		
		Masse	Mol		
		$GWP_m(0)$	$GWP_V(0)$	$GWP_V(10)$	
V.J.	aus $T = 20$	132	48	55	40
	aus $T = 100$	119	43	56	41
UBA		56		41	

Tabelle 2: Global Warming Potential $GWP(0)$ und $GWP(10)$

Gegenwärtig ist die Konzentration von Methan in der Atmosphäre 1,9 ppm_v und die von CO_2 413 ppm_v. Die Anteile dieser beiden Gase am Treibhauseffekt wird mit 17 % bzw. 66 % angegeben³⁾. Daraus ergibt sich, dass ein CH_4 -Molekül 56 mal klimawirksamer ist als ein CO_2 -Molekül. Dieser Wert ist in Tab.2, letzte Spalte, eingetragen und stimmt mit dem $GWP(0)$ überein.

Wirkung der tatsächlichen Einträge von Treibhausgasen

Für den Wärmehaushalt der Erde ist die Gesamtmenge der Treibhausgase entscheidend. Diese ist nur konstant, wenn gleichviel eingeleitet wie abgebaut wird. Die Bildungsrate k_B ist

dann also gleich der Abbaurrate k_A . Die Bildungsrate k_B wird durch den anthropogenen Eintrag erhöht. Bei CO_2 sind dies weltweit jährlich zusätzlich 37 Gt CO_2 (von 3000 Gt Bestand). Bei konstantem heutigem Eintrag und konstanter Abbaurrate k_A führt das bei CO_2 bereits nach 20 Jahren zu einer Erhöhung des Bestandes um 22 %, d.h. von heute 420 ppm auf 512 ppm und damit zu einer signifikanten Klimaveränderung.

Für die Ermittlung des GWP im Obigen wurde die Abbaurrate k_A als konstant angenommen. Sie wird aber von vielen Faktoren beeinflusst. Für CO_2 reduziert sie sich bei steigender Temperatur, da das Meerwasser als Hauptsenke weniger CO_2 löst. Diese positive Rückkopplung führt zu den sog. Kippunkten. Das Methan aus auftauenden Permafrostböden, aus Methanhydrat oder aus der Gasindustrie wird in der Atmosphäre oxidiert, hauptsächlich durch das photochemisch erzeugte Hydroxyl-Radikal, das dabei verbraucht wird. Daher ist auch beim Methan eine Reduktion seiner Abbaurrate mit steigender Konzentration zu erwarten.

Wegen dieser Unsicherheiten erscheint es wenig sinnvoll, von einem Zeithorizont von 20 oder sogar von 100 Jahren mit konstanten Abbauraten auszugehen. Vielmehr ist es für die Klimaentwicklung entscheidend, wie gross der Effekt eines *jetzt* eingeleiteten Klimagases ist. Deshalb erscheint das Anfangs-Global Warming Potential $\text{GWP}_V(0)$ die richtige Kenngrösse, um die Relevanz der einzelnen Klimagase zu beurteilen.

Gegenwärtig wird von wirtschaftlicher und politischer Seite und auch vom IPCC ⁴⁾ vorgeschlagen, die CO_2 -intensive Kohle durch Gas zu ersetzen, da es bei der Verbrennung pro Nutzenergie nur etwa halb so viel CO_2 emittiert. Dabei ist aber Methan das zweitwichtigste Klimagas, und die fossile Energiewirtschaft trägt heute schon 15 bis 22 % zum weltweiten Eintrag bei. Dabei spielen aber auch die Vorketten eine wesentliche Rolle, die bis zu 12 % der klimaschädlichen Emissionen (in CO_2 -Äquivalenten) verursachen. Beim Erdgas werden Leckagen bei der Förderung und beim Transport nicht oder zu gering angesetzt ⁵⁾. Neuere Arbeiten ⁶⁾ berichten von 2,3 % Lecks in der Verteilungskette in den USA im Jahre 2015. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, genügen schon 2 bis 2,5 % Erdgasverlust, um den klimatischen Vorteil gegenüber der Kohle zu verlieren. Dieser Wert wird weltweit von vielen neuen realistischen Schätzungen überschritten. Damit wird deutlich, dass der Ersatz von Kohle durch Erdgas kurz- und langfristig keinen Klimagewinn darstellt.

Zitate:

- 1) IPCC International Panel on Climate Change, Weltklimarat
- 2) Vijaysinh Jadhav (2016)
- 3) UBA
- 4) IPCC, Assessment Report AR 5
- 5) S. Schwietzke et al., Nature 538, 88-91(2016) ...we find that methane emissions from natural gas, oil and coal production and their usage are 20 to 60 per cent greater than inventories^{1,2}. Our findings imply a greater potential for the fossil fuel industry to mitigate anthropogenic climate forcing, but we also find that methane emissions from natural gas as a fraction of production have declined from approximately 8 per cent to approximately 2 per cent over the past three decades.
- 6) Ramón A. Alvarez et al, Science Vol 361, pp. 186-188, 13.Jul 2018 "Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain"