



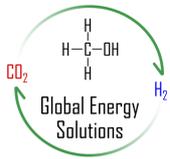
Ist Wasserstoff ein Klimagas ?



Grafik: Pixabay CC/PublicDomain

Dr. Hans Jürgen Wernicke

3.4.2023



Global Energy Solutions e.V.

For Prosperity and Climate Neutrality

Im Rahmen des Aufbaus großer globaler Produktionskapazitäten für Wasserstoff mit entsprechender Logistik und neuen Anwendungsfeldern stellt sich die Frage nach potentiellen Auswirkungen von Wasserstoff als Klimagas.

Da Wasserstoff keine Infrarotstrahlung absorbiert, ist seine Klimawirkung nur indirekter Natur durch Wechselwirkung mit anderen Bestandteilen der oberen Atmosphäre.

Wasserstoff ist ein besonders flüchtiges und permeables Gas, welches schnell in obere Luftschichten aufsteigt und dort unter Bildung von Wasser bzw. Reaktion mit anderen Gasen empfindliche Gleichgewichte beeinflusst. So haben die Wasserstoff-Emissionen insbesondere Auswirkungen auf andere Klimagase wie Kohlendioxid und Methan.

Schon 2003 und 2005 wurde auf das Risiko hingewiesen, dass größere Wasserstoff-Emissionen den Abbau von Ozon, aber auch eine Abkühlung der Stratosphäre infolge des gebildeten Wassers in Form von Wolkenbildung verursachen könnten ^{1 2 3}

Die globale Umstellung auf eine Wasserstoff-Wirtschaft stellt daher zukünftig höhere Anforderungen an die Minimierung von Emissionen vor allem verursacht durch Leckagen. „Best Practice“-Standards für technische Maßnahmen sind erforderlich, um die Verluste in der gesamten Versorgungskette zu begrenzen.

¹ J.O.Löfken, „Klimarisiko Wasserstoff?“, Bild der Wissenschaft, 1.4. Juni 2003

² T.Tromp et. al, “Potential Environmental Impact of a Hydrogen Economy on the Stratosphere”, Science 300 (5626), 1740, (2003)

³ M. Jacobson et al, “Hydrogen Effects on Climate, Stratospheric Ozone, and Air Pollution”, GCEP Technical Report 2005, Global Climate and Energy Project, Stanford Univ., <http://gcep.stanford.edu> accessed 3.4.2023

Wasserstoff in der oberen Atmosphäre

Der atmosphärische Abbau von Wasserstoff erfolgt durch Reaktion mit Hydroxylradikalen als Grundreaktion für die indirekte Klimawirkung mit mehreren Folgereaktionen. Abb.1 zeigt dies schematisch ⁴.

Der Methanabbau in der Troposphäre durch Reaktion mit Hydroxylradikalen zu letztlich Wasser und CO₂ wird durch die konkurrierende Reaktion von Methan mit Wasserstoff verlangsamt und verstärkt damit die Klimawirkung der Methanemissionen.

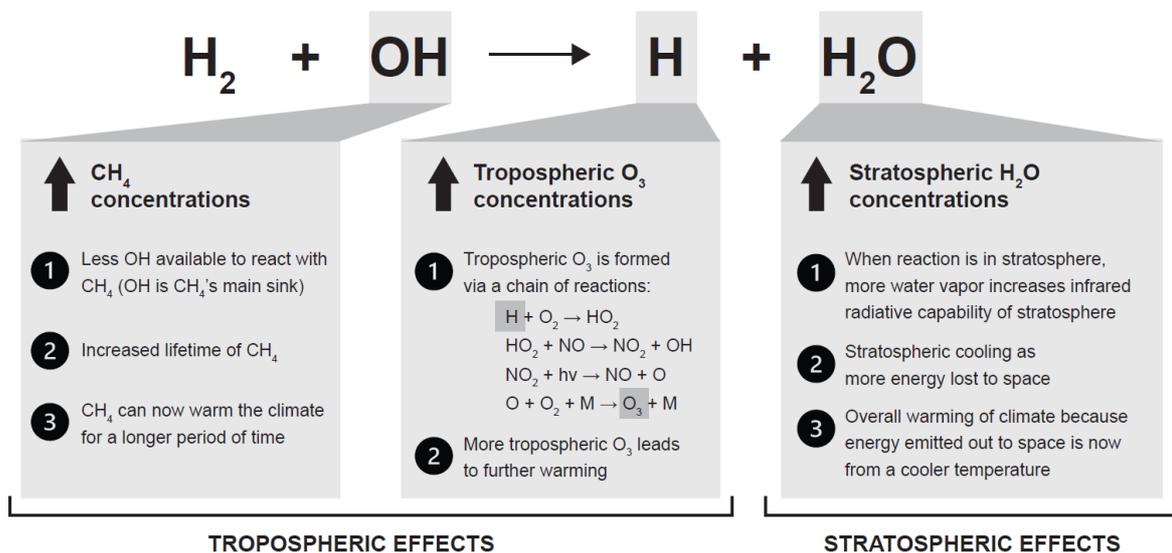


Abb. 1 Reaktionen von Wasserstoff in der oberen Atmosphäre ⁴

Wasserstoffradikale, die aus Wasserstoff durch Reaktion mit Hydroxylradikalen entstehen, befördern in einer Reaktionskette mit Stickoxiden die Bildung von Ozon und damit zusätzlicher Erwärmung und verzögerter Verkleinerung des Ozonlochs.

Die Erhöhung der Wasserdampfkonzentration in der Stratosphäre führt zu Abkühlungseffekten, vermehrter Wolkenbildung und verringerter Abstrahlung sowie ebenfalls einer Verstärkung der Ozonbildung.

⁴ I.Ocko, St.Hamburg, „Climate consequences of hydrogen emissions“, Atmos.Che.Phys. 22, 9349 (2022), accessed 25.3.2023

Klimawirkung von Wasserstoff im Vergleich zu CO₂.

Eine umfangreiche Recherche des Umweltbundesamts (UBA) über die Treibhausgaswirkung von Wasserstoff ergibt die in Tab. 1 dargestellten Treibhausgas-Faktoren im Vergleich zu CO₂ ⁵.

Neuere Untersuchungen von Warwick et al ⁶ und Ocko et al ³ kommen übereinstimmend zu dem Schluss, dass das Erderwärmungspotenzial von Wasserstoff etwa doppelt so hoch ist wie bisher angenommen und über einen Zeitraum von 100 Jahren eine Tonne Wasserstoff in der Atmosphäre die Erde etwa elfmal stärker als eine Tonne CO₂ erwärmt.

Treibhauspotential	Zeithorizont	Quelle
33 (20 – 44)	20 Jahre	Warwick et al. (2022); Ocko und Hamburg (2022)
11 ± 5	100 Jahre	Warwick et al. (2022); Ocko und Hamburg (2022)
3,3 ± 1,4	100 Jahre	Field und Derwent (2021)
5 ± 1	100 Jahre	Derwent et al. (2020)
4,3	100 Jahre	Derwent (2018)
5,8	100 Jahre	Derwent et al. (2006)

Tab1. Treibhausgaspotenzial von Wasserstoff ⁵

Szenarien für Wasserstoffemissionen

Die Größenordnung von Wasserstoffemissionen, ihre zeitliche Entwicklung und die Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung durch technische Maßnahmen können derzeit nur grob geschätzt und über Annahmen umrissen werden.

Warwick et al ⁵ basieren ihre Abschätzung auf einem globalen Energiebedarf von ca. 7.566 Mio. Tonnen Öl-Äquivalent (bezogen auf das Jahr 2018) in den

⁵ M.Riemer, J.Wachsmuth, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, „Ist Wasserstoff treibhausgasneutral?“, Herausgeber Umweltbundesamt Berlin, 30.11.2022

⁶ N. Warwick et al, „Atmospheric implications of increased Hydrogen use“ UK Government Policy Paper, Dept for Energy Security and Net Zero and Dept for Business, Energy & Industrial Strategy, Published 8 April 2022,

Sektoren Gebäude, Transport und Energieerzeugung. Dies umfassen ca. 75 % des globalen Gesamtenergiebedarfs.

Je nach Nutzungssektor wird im Modell ein Energieträger auf einen angenommenen Wasserstoffanteil umgestellt, siehe Tab. 2.

Damit entsteht ein Wasserstoffbedarf von 859 Terragramm = 859 Mio. Tonnen H₂. Bei 1 % bzw. 10 % angenommener Leckage entspricht dies einer jährlichen Wasserstoffemission von 8,7 Mio. Tonnen bzw. 95,5 Mio. Tonnen.

Zum Vergleich: die heutige Wasserstoffkonzentration in der Atmosphäre beträgt ca. 89 Mio Tonnen ⁷.

	Final fossil fuel energy consumption (Million toe)	Percentage switch of final fossil fuel energy consumption to H ₂ (%)	H ₂ required to supply required energy consumption (Tg)	H ₂ leakage at 1% (Tg yr ⁻¹)	H ₂ leakage at 10% (Tg yr ⁻¹)
Buildings	1298	100	453	4.6	50.4
Transport	2768	50	284	2.9	31.5
Power	3500	10	122	1.2	13.6
Total	7566	40	859	8.7	95.5

Tab 2 Wasserstoffemissionen pro Sektor bei 1 % und 10 % angenommener Leckage (Modell nach Warwick ⁶)

Leckagen:

In einer in und für Großbritannien erstellten Studie ⁸ wurden Leckageraten für die gesamte Kette der Wasserstoffherzeugung (Elektrolyse oder grau mit CCS) über

⁷ G.Pieterse et al, „Reassessing the variability in atmospheric H₂ using the two-way nested TM5 model“, JGR Atmospheres, Vol 118, p. 3764, May 2013

⁸ Auftragsstudie, Frazer Nash Consultancy, „Fugitive Hydrogen Emissions in a Future Hydrogen Economy“, UK Government Publication, FNC 012865-53172R, Issue 1, March 2022

den Transport und die Verteilung bis hin zu den Verbrauchern untersucht, die gleichzeitig auch das Potenzial für Maßnahmen zur Eingrenzung der Verluste aufzeigen, siehe Tab.3⁸.

Sector	Specific Area		Predicted Emission Confidence level	
			50 %	99 %
Production	Electrolytic	With venting and purging	3.32 %	9.20 %
		With full recombination of hydrogen from purging and crossover venting	0.24 %	0.52 %
	CCUS-enabled		0.25 %	0.50 %
Transport and Storage	National Transmission System		0.04 %	0.48 %
	Distribution Network		0.26 %	0.53 %
	Underground Storage		0.02 %	0.06 %
	Above Ground Storage (gas)		2.77 %	6.52 %
	Road Trailering (gas)		0.30 %	0.66 %
	Road Trailering (liquid)		3.76 %	13.20 %
End-uses	Residential		0.30 %	0.69 %
	Gas Turbines		0.01 %	0.01 %
	Refuelling Stations		0.25 %	0.89 %
	Fuel Cells	With venting and purging	1.36 %	2.64 %
		With full recombination of hydrogen from purging and crossover venting	0.56 %	1.02 %
	Combustion Engines		0.30 %	0.66 %
	Process Industry		0.25 %	0.50 %

Tab.3 Schätzung von Wasserstoffleckagen entlang der Nutzungskette⁸

Auffällig hierbei sind die hohen Verluste bei der Wasserstoffherstellung durch Elektrolyse, bedingt durch An- und Abfahren, Umschalt- und Spülvorgänge, ferner die Verluste beim Flüssig-Transport.

Schätzungen gehen davon aus, dass Wasserstoff-Emissionen durch Leckagen einen (sicher als „worst case“ zu bezeichnenden) Klimaeffekt von bis zu 0,15 –

0,35 °C bezogen auf 3000 Teragramm = 3 Gigatonnen Wasserstoff und 10 % Leckageraten) haben könnten, Abb. 2 ⁴⁹ .

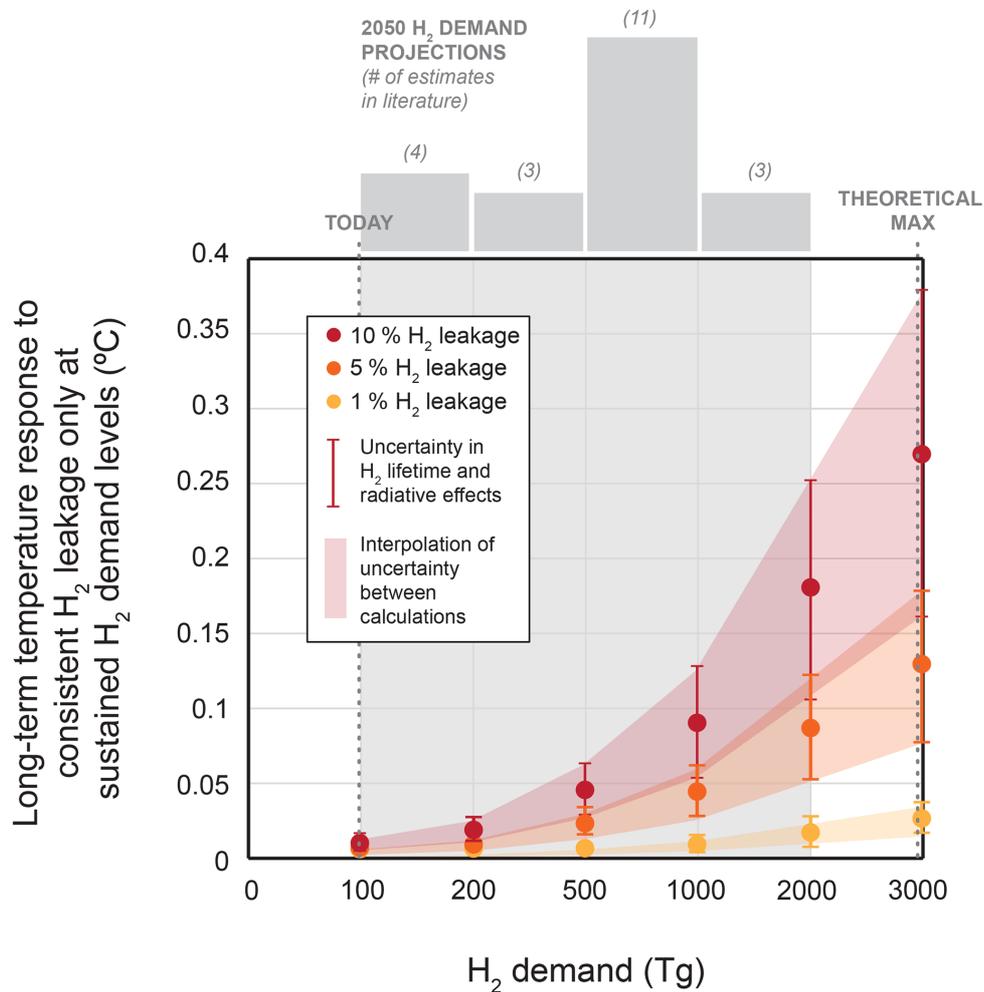


Abb. 2 Geschätzter Klimaeffekt durch Wasserstoff-Emissionen in Abhängigkeit von Produktionsmenge und Leckagerate ⁴

⁹ S&P Global Commodity Insights, „Warming impacts of hydrogen emissions are overlooked, underestimated,“ 27.7.23, accessed 3.4.23

Fazit: Relevanz von Wasserstoff-Emissionen

Die Kenntnisse über die Klimawirkung von Wasserstoff sind bisher äußerst begrenzt, sind könnten aber im Zuge der Ausweitung der Wasserstoff-Produktion und der damit verbundenen Liefer- und Handlingketten relevant werden.

Gesichert ist, dass Wasserstoff im Vergleich zu CO₂ ein 11faches (bezogen auf 100 Jahre) und vermutlich ca. 30faches (bezogen auf 20 Jahre) Treibhausgaspotential hat.

Wasserstoff ist ein indirektes Klimagas. Es reagiert in der oberen Atmosphäre zu Wasserdampf (mit einer entsprechenden abschirmenden Wirkung) und fördert den Abbau von Ozon.

Alle bisherigen Modelle ergeben eine Wasserstoff-Konzentration in der Atmosphäre von wenigen ppm. Welchen Einfluss dabei die indirekte Klimawirkung von Wasserstoff auf die globale Erwärmung hat, lässt sich derzeit nicht bestimmen.

Allgemein akzeptierte „Best Practices“ oder Standards zur Senkung der Emissionen vor allem bei den Hauptquellen Elektrolyse und Flüssig-H₂-Transport gibt es derzeit nicht.

Die technisch bedingten und beeinflussbaren Wasserstoffverluste bewegen sich geschätzt im einstelligen Prozentbereich und bis zu 10 % bei der Elektrolyse.

Allerdings ist die allgemeine Vorstellung, dass die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff, vor allem auch von Elektrolysewasserstoff klimaneutral sei, falsch.

In der Gesamtbetrachtung ist davon auszugehen, dass zusätzliche Klimaeffekte durch Wasserstoff vergleichsweise gering sind und die positiven Effekte durch vermehrte Verwendung von Wasserstoff und die damit verbundene Absenkung der Emissionen anderer Klimagase wie CO₂ und Methan überwiegen.

In diesem Zusammenhang erstaunlich ist die Tatsache, dass Wasserstoff nicht in der Liste der Klimagase des Pariser Klimaschutzabkommens geführt wird und daher auch nicht in die einzelnen Klimabilanzen eingeht.