



# Was zeigen uns Satelliten-Beobachtungen von Methan?

## Hintergrundinformation

Methan ( $\text{CH}_4$ ) ist nach Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) das wichtigste anthropogene Treibhausgas. „Anthropogen“ bedeutet „durch den Menschen beeinflusst bzw. verursacht“.

Nur Wasserdampf ist ein noch stärkeres Treibhausgas. Wasserdampf kann sich aber im Gegensatz zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$  nicht beliebig in der Atmosphäre anreichern, da es z.B. kondensiert und durch Regenbildung aus der Atmosphäre entfernt wird, wenn eine bestimmte Maximalkonzentration erreicht wird. Bezüglich Klimawandel und Treibhausgasemissionen spielen daher Wasserdampfemissionen keine Rolle, im Gegensatz zu den Emissionen der Treibhausgase  $\text{CO}_2$  und Methan.

Steigende Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre führen mittels des Treibhauseffekts zu Erderwärmung und weiteren problematischen Folgen, wie zum Beispiel Gletscherschmelze, Anstieg des Meeresspiegels und Zunahme von Extremwetterereignissen. Daher ist es wichtig, die atmosphärischen Konzentrationen dieser Gase streng zu überwachen, zum Beispiel mittels Satellitenmessungen.

Wie kann man mittels Satelliten die atmosphärische Methan-Konzentration messen? Das geht im Prinzip genauso wie für Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) und ist hier beschrieben: [https://www.iup.uni-bremen.de/carbon\\_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Wie\\_messen\\_Satelliten\\_CO2.html](https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Wie_messen_Satelliten_CO2.html).

Was zeigen uns die Satelliten-Beobachtungen von Methan?

Die folgenden Abbildungen (und weitere einschließlich einer Animation) sind auch auf dieser Webseite zu sehen: [https://www.iup.uni-bremen.de/carbon\\_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Was\\_zeigen\\_uns\\_Satelliten\\_Methan\\_Beobachtungen.html](https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Was_zeigen_uns_Satelliten_Methan_Beobachtungen.html)

Abbildung 1 zeigt räumliche Verteilungen der atmosphärischen Methankonzentration. Gezeigt ist die atmosphärische Methan-Konzentration in „ppb“ ("parts per billion", also "Teile pro Milliarde"). Gemeint ist hier der Anteil der Methan-Moleküle an den Luftmolekülen. 1800 ppb bedeuten hier, dass die Atmosphäre an dem entsprechenden Ort (bzw. oberhalb dieses Ortes) im Mittel 1800 Methan-Moleküle pro eine Milliarde Luftmoleküle (ohne Wasserdampfmoleküle) enthält (und zwar in der ganzen Atmosphäre, also vom Erdboden bis zum Oberrand der Atmosphäre). Diese Messgröße, also das vertikal gemittelte Mischungsverhältnis von Methan ( $\text{CH}_4$ ) bezüglich trockener Luft, wird mit  $\text{XCH}_4$  bezeichnet.

Wie man an den räumlichen Datenlücken sieht, messen die Satelliten nicht immer überall. Datenlücken gibt es zum Beispiele wegen Wolken. Man möchte mit dem Satelliten aus dem Weltraum bis zum Erdboden schauen (warum? siehe unten) und Wolken behindern dabei die Sicht bzw. den Weg des reflektieren Sonnenlichts von der Sonne zum Erdboden und dann zum Satelliten.

# Was zeigen uns Satelliten-Beobachtungen von Methan?

Die Satelliten beobachten die Atmosphäre mehr oder weniger direkt unterhalb des Satelliten (sie schauen also quasi nach unten). Im Falle von Wolken kann man den Erdboden nicht vom Weltraum sehen, da das Sonnenlicht bereits am Oberrand der Wolke in den Weltraum zurückreflektiert wird und nicht am Erdboden, wie im wolkenfreien Fall. Denn auch Sonnenlicht im hier verwendeten nahinfraroten Spektralbereich (um 1650 Nanometer) wird durch Wolken ähnlich beeinflusst, wie Sonnenstrahlung im für uns sichtbaren Spektralbereich (mit kürzeren Wellenlängen im Bereich um die 400-700 Nanometer). Die Satelliten sehen zwar Sonnenstrahlung anderer (nämlich längerer) Wellenlängen (also andere "Farben"), aber ansonsten ist vieles ähnlich wie bei unserem „Sehen“.

Die hier gezeigten Daten entsprechen wolkenfreien Beobachtungsbedingungen. Und da es viele Wolken gibt, gibt es auch viele Datenlücken.

Die große Karte oben in Abbildung 1 zeigt die räumliche Verteilung gemessener Methankonzentrationen des Jahres 2021. Man erkennt wichtige Quellregionen an den lokal erhöhten Konzentrationen (gelb), denn nahe der Quelle sind die Konzentrationen meist am höchsten. Das an einem Ort emittierte Methan wird mit dem Wind transportiert und mischt sich mit der Umgebungsluft. Wenn man die Daten über einen langen Zeitraum mittelt, und wenn genügend Messungen am Ort der Quelle und in dessen Umgebung vorliegen, dann kann man meist die Orte lokaler Quellen bestimmen.

Wie Abbildung 1 zeigt, sind wichtige Quellregionen zum Beispiel China und Indien (Landwirtschaft einschließlich Reisproduktion, Abfall, fossile Brennstoffe, etc.), aber auch der Sudan (Sümpfe) und Teile der USA und Russlands (z.B. Förderung, Transport und Verbrauch fossiler Brennstoffe).

Die beiden regionalen Karten am unteren Rand der Abbildung 1 zeigen Satelliten-Einzelmessungen, wie man sie aus einzelnen Überflügen des Satelliten über ein bestimmtes Gebiet ableiten kann. Jedes kleine farbige Rechteck deckt am Erdboden eine Fläche mit einer Seitenlänge von etwa 7 km ab. Auch hier sind wichtige Quellregionen klar an lokal erhöhten Konzentrationen (gelb) zu erkennen. Die „gelben Flecken“ in der Region unten links entsprechen im Wesentlichen Methanemissionen aus der Erdölförderung im Bereich des Permian Basin in Nordamerika. Die „gelben Flecken“ in der Region unten rechts entsprechen Methanemissionen aus Erdgas-Förderung und -Transport in Turkmenistan.

Mittels geeigneter Methoden können aus den gezeigten Satellitendaten die Methanemissionen abgeschätzt werden, also die emittierte Menge pro Zeit (z.B. Kilogramm Methan pro Stunde). Hierfür werden aber weitere Informationen benötigt, insbesondere die Windgeschwindigkeit in den unteren Atmosphärenschichten (siehe z.B. Schneising et al., 2020). In der Tat ist die Hauptanwendung für diese Messungen mehr über die lokalen und regionalen Quellen von Methan zu erfahren.

## Satellitenmessungen von Methan

Global – 2021

TROPOMI/S5P WFMDv1.8

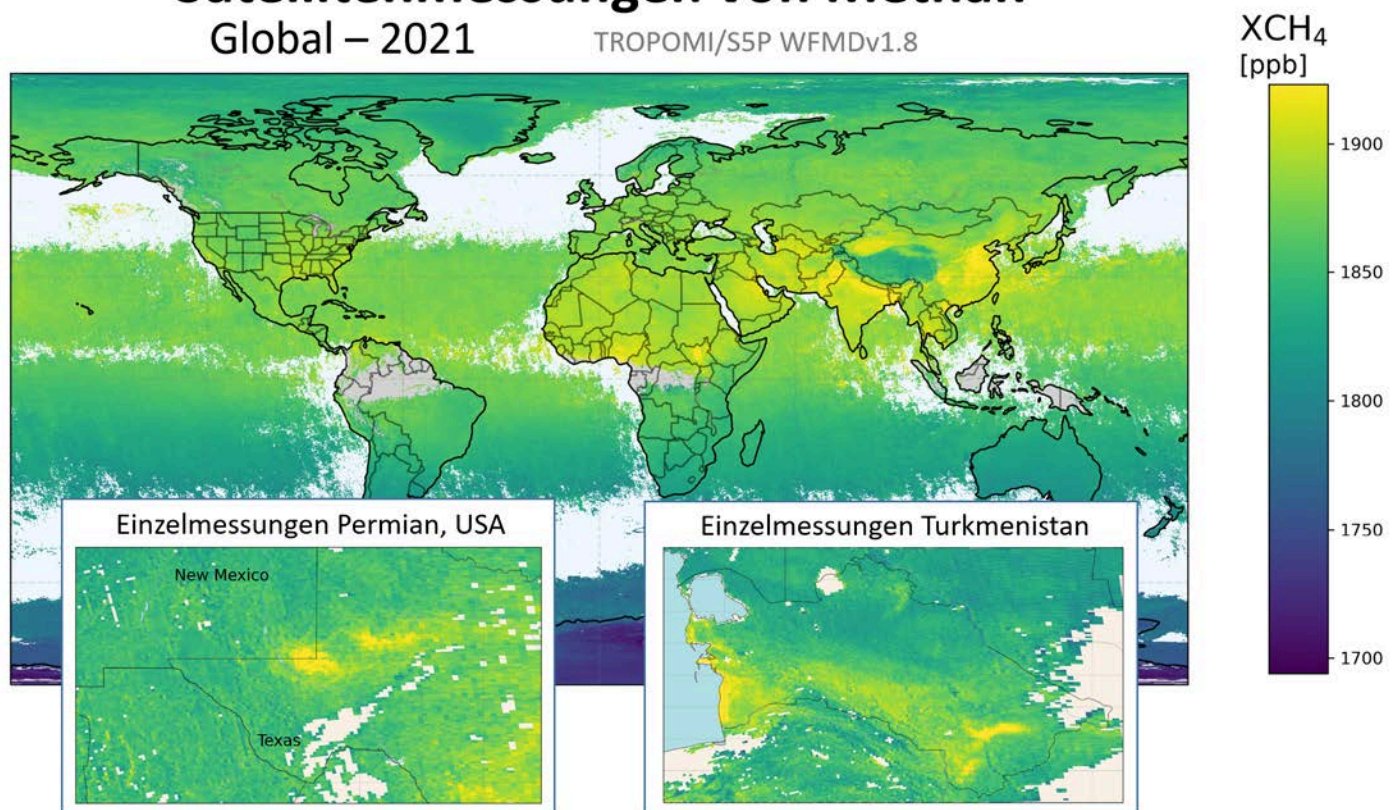


Abbildung 1: Satellitenmessungen von Methan. Dargestellt ist „XCH<sub>4</sub>“, also das mittlere atmosphärische Mischungsverhältnis von Methan, in ppb, also als Anzahl der Methanmoleküle pro eine Milliarde Luftmoleküle. Die Methankonzentrationen wurden mittels eines an der Universität Bremen entwickelten Auswertalgorithmus aus den Messungen des Sentinel-5 Precursor (S5P) Satelliten abgeleitet (siehe Schneising et al., 2023). Die globale Karte oben zeigt die gemittelten Konzentrationen des Jahres 2021. Die beiden Karten unten zeigen (nicht gemittelte) Einzelmessungen aus Überflügen über die USA (links unten) und Turkmenistan (rechts unten).

Den mittels Satelliten bestimmten zeitlichen Verlauf der atmosphärischen Methankonzentration zeigt Abbildung 2. Dargestellt ist das vertikal gemittelte Methan-Mischungsverhältnis (also XCH<sub>4</sub>) mit monatlicher Auflösung im Zeitraum Anfang 2003 bis Ende 2022. Wie man sieht, ist die Methankonzentration über der Nordhemisphäre etwa 25 ppb höher als über der Südhemisphäre. Der Grund hierfür ist, dass sich die meisten Methanquellen auf der Nordhemisphäre befinden. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind auch im Norden am ausgeprägtesten. Sümpfe sind eine starke Methanquelle und Emissionen sind am stärksten, wenn es warm und feucht ist. Entsprechend liegt das Konzentrationsmaximum über der Nordhemisphäre in der zweiten Jahreshälfte.

Der Zeitverlauf zeigt, dass die Methankonzentration bis etwa 2007 - abgesehen von jahreszeitlichen Schwankungen - im Mittel über die Jahre recht konstant war. Seit 2007 gibt es aber einen Anstieg der

Konzentrationen (wie auch schon vor 1990, wie Bodenmessungen zeigen ([https://gml.noaa.gov/ccgg/trends\\_ch4/](https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/))).

Aufgrund der Vielzahl der Methanquellen (und wegen der starken Senke in der Atmosphäre durch chemischen Abbau) ist der genaue Grund bzw. die genauen Gründe für den beobachteten Konzentrationsverlauf Gegenstand aktueller Forschung. Untersuchungen legen nahe, dass es wohl nicht nur einen Grund für den Anstieg gibt und dass mikrobielle Quellen, also Methanemissionen durch den Abbau von Biomasse zum Beispiel in Sümpfen, eine wichtige Rolle spielen. Der Anstieg ist also nicht nur durch die Zunahme anthropogener Quellen wie nicht-konventionelle Erdgasförderung durch Fracking zu erklären.

## Satellitenmessungen von Methan

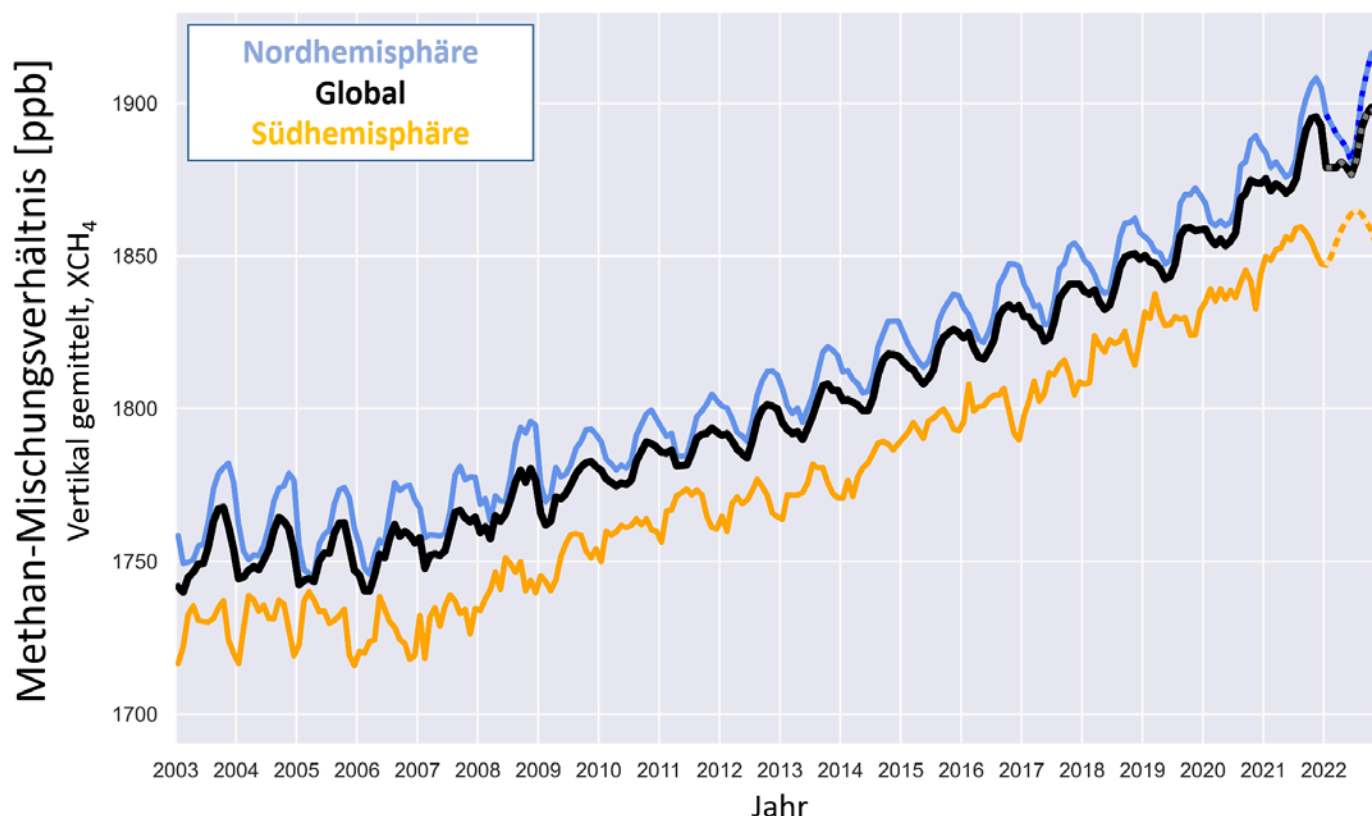


Abbildung 2: Zeitreihen der atmosphärischen Methankonzentration im Zeitraum 2003 – 2022 für 3 Regionen: Global (schwarz), Nordhemisphäre (blau) und Südhemisphäre (orange). Details: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/greenhouse-gas-concentrations>.

## Weitere Materialien

Weitere Materialien, wie zum Beispiel eine Animation der globalen Satellitenmessungen von Methan, sind hier zusammengestellt:

[https://www.iup.uni-bremen.de/carbon\\_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Was\\_zeigen\\_uns\\_Satelliten\\_Methan\\_Beobachtungen.html](https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Was_zeigen_uns_Satelliten_Methan_Beobachtungen.html)

Die dort gezeigte Animation zeigt zum Beispiel, dass die Satellitenmessungen dem Sonnenstand (also den Jahreszeiten) folgen, da die Messungen auf reflektiertem Sonnenlicht basieren. Je höher die Sonne am Himmel steht (also je kleiner der Sonnenzenitwinkel ist), desto mehr Sonnenlicht wird pro Quadratmeter Erdoberfläche in den Weltraum Richtung Satellit zurückreflektiert. Ein hoher Sonnenstand ist also besser für die hier gezeigten Messungen.

Allgemeine Hintergrundinformationen zum Klimawandel und zu sogenannten essentiellen Klimavariablen (wie Methan oder CO<sub>2</sub>) finden sich in unserem Handbuch:

[https://www.iup.uni-bremen.de/carbon\\_ghg/Clim4Edu/Handbuch/Clim4Edu\\_Handbuch\\_red.pdf](https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/Handbuch/Clim4Edu_Handbuch_red.pdf)

bzw. auf der entsprechenden Webseite:

[https://www.iup.uni-bremen.de/carbon\\_ghg/Clim4Edu/Handbuch/](https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/Handbuch/)

Weitere Hintergrundinformationen zu Methan gibt es zum Beispiel auch hier:

<https://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Methan>

## Referenzen

Schneising, O., Buchwitz, M., Reuter, M., Vanselow, S., Bovensmann, H., and Burrows, J. P.: Remote sensing of methane leakage from natural gas and petroleum systems revisited, *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 9169-9182, <https://doi.org/10.5194/acp-20-9169-2020>, 2020.

Schneising, O., Buchwitz, M., Hachmeister, J., Vanselow, S., Reuter, M., Buschmann, M., Bovensmann, H., and Burrows, J. P.: Advances in retrieving XCH<sub>4</sub> and XCO from Sentinel-5 Precursor: improvements in the scientific TROPOMI/WFMD algorithm, *Atmos. Meas. Tech.*, 16, 669-694, <https://doi.org/10.5194/amt-16-669-2023>, 2023.