

Hintergrundinformationen

Methan (CH_4) ist nach Kohlenstoffdioxid (CO_2) das wichtigste anthropogene Treibhausgas. Wasserdampf ist ein noch stärkeres Treibhausgas, kann sich aber im Gegensatz zu CO_2 und CH_4 nicht beliebig in der Atmosphäre anreichern. Dennoch spielen auch Wasserdampfemissionen bezüglich dem Klimawandel und Treibhausgasemissionen eine Rolle – denn je wärmer die Atmosphäre ist, umso mehr Wasser kann sie aufnehmen und halten. Wie genau sich dieser Effekt gerade auswirkt, wird noch untersucht.

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 Extremwetter-Ereignissen. Daher ist es wichtig, die atmosphärischen Konzentrationen dieser Gase streng zu überwachen, z. B. mittels Satellitenmessungen.

Wie uns Satelliten bei der Messung der Methan-Konzentration helfen

Wie kann man mittels Satelliten die atmosphärische Methan-Konzentration messen? Das geht im Prinzip genauso wie für Kohlenstoffdioxid (CO_2) und ist hier beschrieben: https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Wie_messen_Satelliten_CO2.html.

Die folgenden Abbildungen (und weitere) sind auch auf dieser Webseite zu sehen: 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. 1.800 ppb bedeuten hier, dass die Atmosphäre an dem entsprechenden Ort (bzw. oberhalb dieses Ortes) im Mittel 1.800 Methan-Moleküle pro eine Milliarde Luftmoleküle (ohne Wasserdampfmoleküle) enthält. Diese Messgröße wird mit XCH_4 bezeichnet.

Satelliten messen nicht immer überall, da Wolken die Sicht versperren können. Das Sonnenlicht wird bereits am Oberrand der Wolke in den Weltraum zurück reflektiert und nicht am Erdboden, wie im wolkenfreien Fall. Das gilt sowohl für die Sonnenstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (um 400-700 nm), als auch für den nahinfraroten Spektralbereich (um 1.650 nm), mit dem Satelliten Methan messen.

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

Die Karte in Abbildung 1 zeigt die räumliche Verteilung gemessener Methankonzentrationen des Jahres 2021. Wichtige Quellregionen, wie China und Indien (Landwirtschaft, Abfall, fossile Brennstoffe, etc.), Sudan (Sümpfe) und Teile der USA und Russlands (Öl- und Gas-Förderung, Transport, etc.), sind in Gelb zu

Was zeigen uns Satelliten-Beobachtungen von Methan?

erkennen. Das lokal emittierte Methan wird mit dem Wind transportiert und mischt sich mit der Umgebungsluft.

Die beiden regionalen Karten zeigen Satelliten-Einzelmessungen, wie man sie aus einzelnen Überflügen des Satelliten über ein bestimmtes Gebiet ableiten kann. Jeder sichtbare Pixel deckt am Erdboden eine Fläche mit einer Seitenlänge von etwa 7 km ab. Auch hier sind wichtige Quellregionen zu erkennen: unten links Methanemissionen aus der Erdölförderung im Bereich des Permian Basin in Nordamerika und unten rechts aus Erdgas-Förderung und -Transport in Turkmenistan.

Mittels geeigneter Methoden können aus den gezeigten Satellitendaten die Methanemissionen abgeschätzt werden. Hierfür werden aber weitere Informationen benötigt, insbesondere die Windgeschwindigkeit in den unteren Atmosphärenschichten (siehe z. B. Schneising et al., 2020).

Satellitenmessungen von Methan

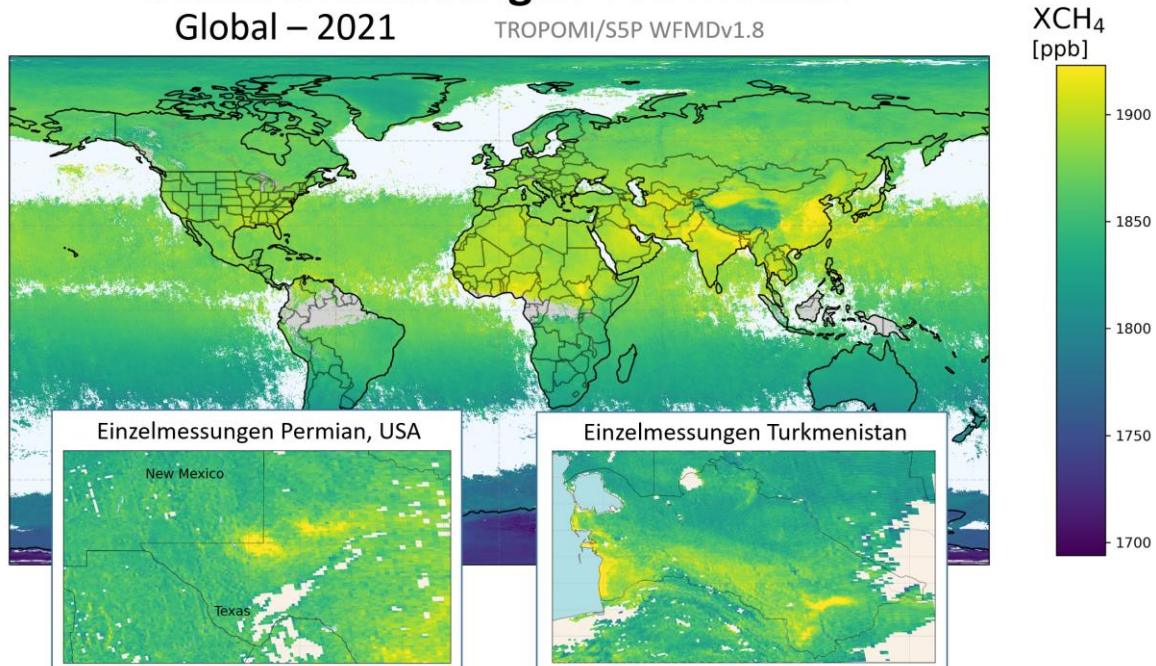


Abbildung 1: Satellitenmessungen von Methan. Dargestellt ist „XCH₄“, also das mittlere atmosphärische Mischungsverhältnis von Methan, in ppb, also als Anzahl der Methanmoleküle pro eine Milliarde Luftmoleküle. Die Methankonzentrationen wurden mittels eines an der Universität Bremen entwickelten Auswertalgorithmus 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 XCH₄) mit monatlicher Auflösung im Zeitraum Anfang 2003 bis Ende 2022. Die Methankonzentration ist auf der Nordhalbkugel etwa 25 ppb höher als auf der Südhalbkugel, da dort die meisten Methanquellen zu finden sind. Auch die jahreszeitlichen Schwankungen sind auf der Nordhalbkugel stärker ausgeprägt als im Süden:

Was zeigen uns Satelliten-Beobachtungen von Methan?

Sümpfe sind eine bedeutende Quelle für Methan, und die Emissionen sind besonders hoch, wenn es warm und feucht ist. Daher erreicht die Methankonzentration auf der Nordhalbkugel in der zweiten Jahreshälfte ihren Höhepunkt.

Der Zeitverlauf zeigt, dass die Methankonzentration bis etwa 2007 im Jahresmittel 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/)).

Dieser Anstieg ist Gegenstand aktueller Forschung. Untersuchungen legen nahe, dass es wohl nicht nur einen Grund für den Anstieg gibt, und dass neben anthropogenen Emissionen auch mikrobielle Quellen, also Methanemissionen durch den Abbau von Biomasse z. B. in Sümpfen, eine wichtige Rolle spielen.

Satellitenmessungen von Methan

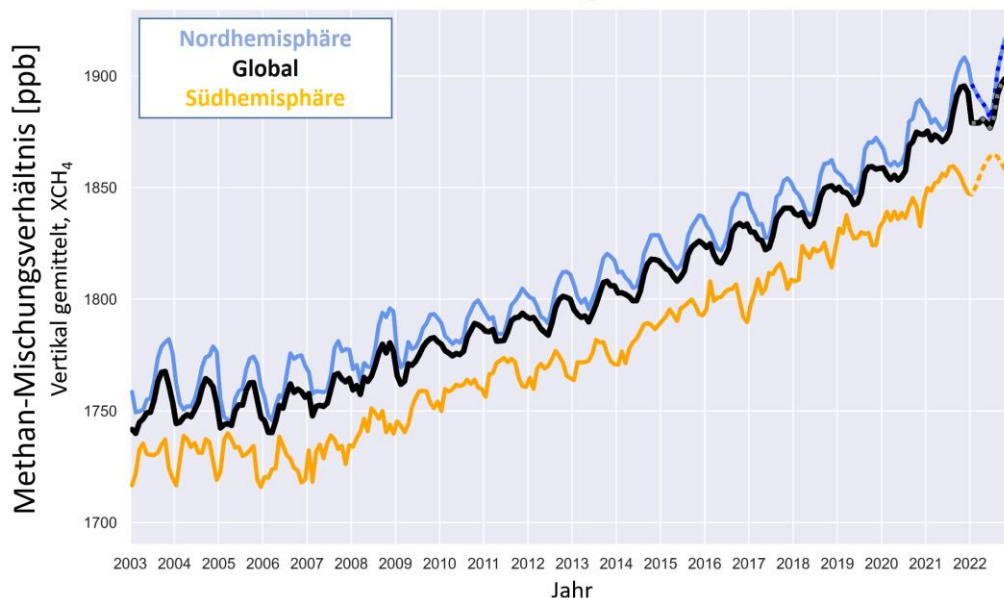


Abbildung 2: Zeitreihen der atmosphärischen Methankonzentration im Zeitraum 2003 – 2022 für 3 Regionen: Global (schwarz), Nordhemisphäre (blau) und Südhemisphäre (orange). Details: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/greenhouse-gas-concentrations>.

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

Die dort gezeigte Animation zeigt zum Beispiel, dass die Satellitenmessungen dem Sonnenstand 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 qm 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 CO₂) finden sich in unserem Handbuch:

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/

Weitere Hintergrundinformationen zu Methan gibt es zum Beispiel auch hier:

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

Referenzen

Schneising, O. et al. (2020): Remote sensing of methane leakage from natural gas and petroleum systems revisited, Atmos. Chem. Phys., 20, 9169-9182. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-20-9169-2020>

Schneising, O. et al. (2023): Advances in retrieving XCH₄ and XCO from Sentinel-5 Precursor: improvements in the scientific TROPOMI/WFMD algorithm, Atmos. Meas. Tech., 16, 669–694. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-16-669-2023>.