

Klimaziele erreichen? Treibhausgase mit Satelliten messen

Begleitmaterial für Lehrkräfte

Autoren: Pia Mailänder, Dr. Michael Schmidt, Prof. Dr. Zbynek Malenovsky
(Remote Sensing Research Group Universität Bonn)

Fächer: Geographie, Biologie,
Naturwissenschaft, Technik, Physik

Jahgangsstufe: 10-13 (Sek II)

Themen: Klimawandel, Fernerkundung,
Satellitenbilder, Erdbeobachtung, Vegetation,
Klimaabkommen

Benötigte Materialien: PC/Laptop/Tablet mit
Internetzugang, Arbeitsblatt „Klimaziele
erreichen? Treibhausgase mit Satelliten
messen“

Zeitbedarf: 1-2 Unterrichtsstunden

Ziele

Die Schülerinnen und Schüler (SuS) können...

- den globalen Klimawandel und damit einhergehende Schlüsselbegriffe wie das Pariser Klimaabkommen und anthropogene Treibhausgase verstehen.
- das Messen von Treibhausgasen durch Satelliten an Hand des Sentinel-5P TROPOMI Sensors nachvollziehen.
- die wichtigsten anthropogenen Treibhausgase charakterisieren.
- die räumliche und zeitliche Verteilung von anthropogenen Treibhausgasen aus Satellitendaten beschreiben und ergründen.
- die verschiedenen Klimaszenarien der IPCC unterscheiden und geeignete Maßnahmen ergründen.

Voraussetzungen

Die SuS benötigen mindestens pro Gruppe ein mobiles Endgerät mit Internetzugang. Die Aufteilung der Klasse erfolgt zunächst in Zweierpärchen, dann in vier verschiedene Gruppen.

Lehrplanbezug

Auszug ausgewählter Bundesländer:

Bundesland	Inhaltsfeld	Klassen	Detail
NRW	Lebensräume und deren naturbedingte sowie anthropogen bedingte Gefährdung	SEKII	„(...) Möglichkeiten und Grenzen der modernen Technik deutlich werden können.“ (schulentwicklung.nrw.de)
Bayern	Geographische Arbeitstechniken	SEKII	„Die SuS (...) interpretieren differenziert physisch-geographische und thematische Karten, Diagramme sowie Bilder und Satellitenbilder; interpretieren und bewerten Strukturdaten, Daten aus Statistiken sowie Indizes.“ (lehrplanplus.bayern.de)
Baden-Württemberg	Digitale Orientierung	Klassen 9/10	„Die Schülerinnen und Schüler können die Nutzung von digitalen Medien und von Informationen aus der Fernerkundung zur Raumanalyse darstellen.“ (bildungsplaene-bw.de)
Bremen	Kompetenzbereich „Geographische Analyse- und Methodenkompetenz“	SEKII	„Der Beurteilung und Einordnung raumbedeutsamer geographischer Phänomene und der Entwicklung geographischer Fragestellungen und Hypothesen geht daher eine gründliche Analyse unter Anwendung fachspezifischer, also an natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Verfahren angelehnter Methoden (zum Beispiel Nutzung geographischer Informationssysteme, Analyse digitaler Daten der Fernerkundung, ...)“ (lis.bremen.de)
Rheinland-Pfalz	Grenzen der Raumnutzung	SEKII	„Methodische Anregungen: Satellitenbilder beschreiben, vergleichen und interpretieren.“ (lehrplaene.bildung-rp.de)
Sachsen	Geographische Denk- und Arbeitsweise	SEKII	„Die Schüler sind in der Lage, Wetterkarten und meteorologische Satellitenbilder Europas zu interpretieren.“ (cms.sachsen.schule)
Schleswig-Holstein	Einstieg in die Geographie	SEKII	„Arbeiten wie ein Geograph: Orientierung, Karte, Atlas, WebGIS / internetbasierte Raumdarstellungen“ (fachportal.lernnetz.de)
Thüringen	Methodenkompetenz	SEKII	„Methoden der Fernerkundung beschreiben und Luft- und Satellitenbilder interpretieren.“ (schulportal-thueringen.de)

Aufgabe 1



Aufteilung der Klasse in mindestens vier Gruppen. Bei einer großen Anzahl an Schüler*innen können manche Gruppenthemen auch doppelt vergeben werden.

Jede Gruppe soll weitere Informationen über eines der folgenden vier Treibhausgase recherchieren:

1. Kohlenstoffmonoxid (CO)
2. Stickstoffdioxid (NO₂)
3. Ozon (O₃)
4. Methan (CH₄)

Recherchiert im Internet zu eurem Gas und beantwortet die folgenden Fragen. Schaut euch auch Abbildung 2 nochmal genau an.

- 1. Durch welche Prozesse gelangt das Gas in die Atmosphäre? Unterscheidet zwischen natürlichen und anthropogenen Prozessen.**

CO: Entsteht durch die unvollständige Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Produkten. Anthropogene Quellen sind der Kraftfahrzeugverkehr, Industrieprozesse und Haushalte. Kohlenstoffmonoxid kommt quasi nicht natürlich in der Atmosphäre vor. Geringe Mengen können jedoch durch Waldbrände und vulkanische Aktivitäten freigesetzt werden (Quelle: UMWELTBUNDESAMT 2023).

NO₂: Entsteht als Nebenprodukt von Verbrennungsprozessen. Hauptquellen sind Verbrennungsmotoren und die Verbrennung von Kohle, Öl, Gas und Abfällen. Natürliche Prozesse tragen nur sehr gering zu der Stickstoffdioxid-Konzentration in der Atmosphäre bei. Zum Beispiel kann durch mikrobielle Aktivität im Boden geringe Mengen an NO₂ freigesetzt werden (Quelle: UMWELTBUNDESAMT 2013).

O₃: Ozon wird anders als andere Treibhausgase nicht direkt freigesetzt, sondern durch komplexe photochemische Prozesse gebildet. Man muss zwischen stratosphärischem und troposphärischem Ozon unterscheiden. Stratosphärisches Ozon bildet sich durch komplexe photochemische Reaktionen in der Stratosphäre. Diese so genannte Ozonschicht schützt uns vor schädlicher UV-Strahlung aus dem All. Troposphärisches oder bodennahes Ozon hingegen entsteht durch den anthropogenen Ausstoß von Stickstoffdioxid und führt zum Beispiel zum Sommersmog-Phänomen (Quelle: EWE 2025).

CH₄: Methan entsteht bei der Umwandlung organischer Stoffe ohne die Anwesenheit von Sauerstoff. Methan wird durch natürliche Prozesse, wie dem Stoffwechsel von Mikroorganismen, geologische Quellen oder das Auftauen von Permafrostböden freigesetzt. Eine große anthropogene Quelle ist die Landwirtschaft. Hier werden bei der Verdauung der Nutztiere und der Lagerung und Verarbeitung von Gülle Methan freigesetzt. Auch bei der Verarbeitung von Erdgas und Kohle wird Methan freigesetzt. Letztlich beschleunigen anthropogene Aktivitäten auch natürliche Prozesse, wie die Freisetzung von Methan durch die Austrocknung von Mooren und dem beschleunigten Abtauen des Permafrostes (Quelle: BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG 2017).

2. In welchem Wellenlängenbereich kann das Gas von TROPOMI gemessen werden?

→ Aus Abbildung 3 ableiten

CO: Kurzwelliges Infrarot

NO₂: Sichtbares Licht

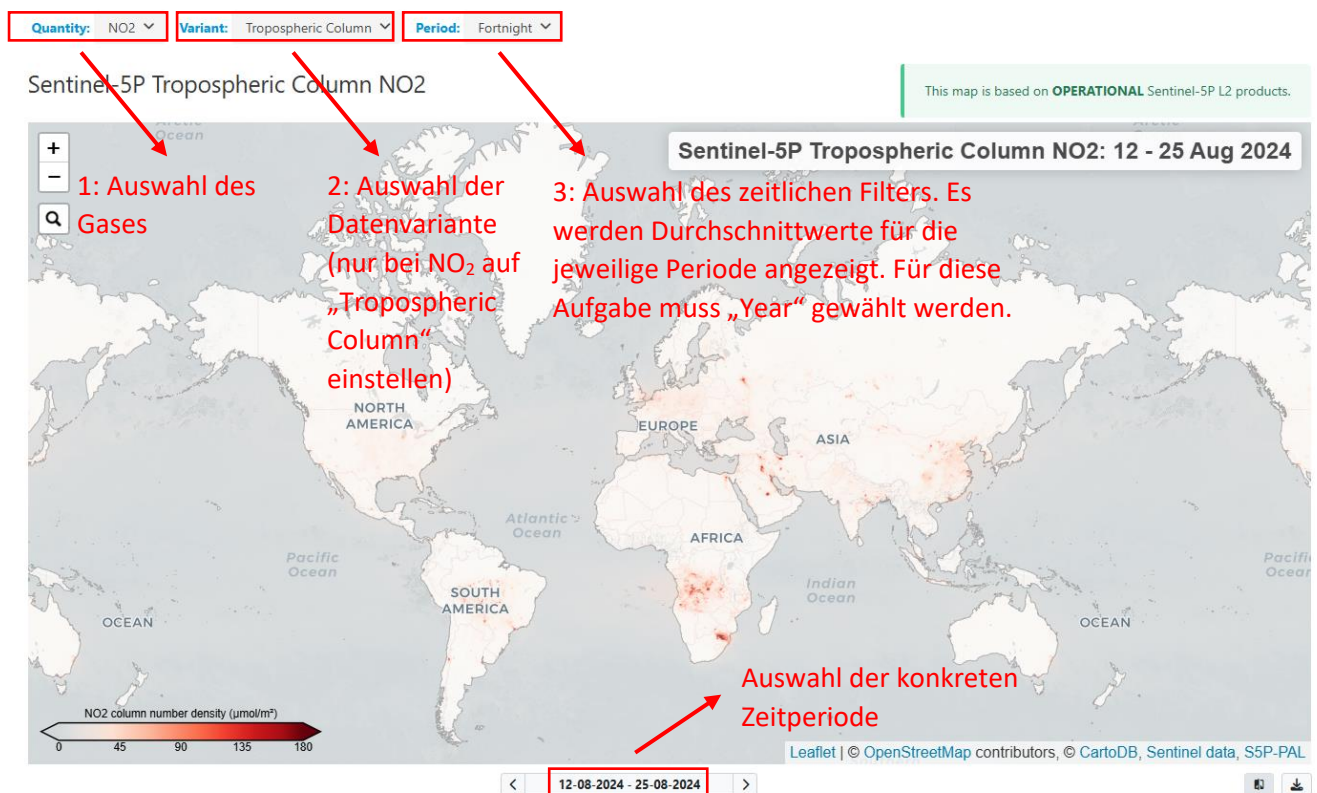
O₃: Ultraviolettes Licht

CH₄: Kurzwelliges Infrarot

Aufgabe 2

Bleibt in euren Gruppen und öffnet gemeinsam die Plattform „Copernicus Sentinel-5P Mapping Portal“ unter diesem Link: <https://maps.s5p-pal.com>

Die Plattform bietet Visualisierungen für die verschiedenen Datenprodukte der Sentinel-5P Mission auf verschiedenen zeitlichen Skalen. In der Menüleiste oben links könnt ihr unter „Quantity“ zwischen den verschiedenen Gasen wählen. Unter „Variant“ muss nur für Stickstoffdioxid „Tropospheric Column“ ausgewählt werden, für alle andere Gase muss nichts eingestellt werden. Unter „Period“ könnt ihr zwischen verschiedenen Zeitabschnitten wählen, für die ein durchschnittliches Produkt berechnet wurde. Unter der Karte könnt ihr die gewünschte Zeitperiode eurer Darstellung auswählen.



Lösung:

Wählt unter „Quantity“ euer Gas und beantwortet die folgenden Fragen:

1. In welchen Regionen der Welt wurde für das Jahr 2023 die höchste Konzentration eures Gases beobachtet? In welchen Regionen ist die Belastung besonders gering? (Einstellung „Period“= Year, Zeitperiode unten = 01-01-2023 – 31-12-2023)

CO: Besonders hohe Belastung in West-/Zentralafrika, Teilen Kanadas, Ost-China, Indien & Südamerika. Geringe Belastung in der Region um den Himalaya und südlich des Südlichen Wendekreises.

NO₂: Vereinzelte Ballungsgebiete z.B. in Nordost-China, Moskau, Nordwesteuropa, Indien und Südafrika. Geringe Konzentration abseits dieser Ballungsgebiete.

O₃: Höhere Konzentration in der Nördlichen Hemisphäre und im nördlichen Pazifik. Geringere Belastung um den Äquator und in der Antarktis.

CH₄: Höhere Konzentration in Zentral Afrika, Indien, China und entlang des Äquators. Geringere Konzentration auf der südlichen Halbkugel und in Grönland.

2. Was könnt ihr aus der räumlichen Verteilung eures Gases ableiten? Welche Prozesse und Faktoren könnten hinter dieser Verteilung liegen?

CO: Hohe Kohlenstoffmonoxid Konzentrationen lassen sich oft in Regionen mit einer hohen Bevölkerungsdichte und intensiver industrieller Tätigkeit finden. Auch die Brandrodung in der Landwirtschaft führt zu erhöhten Werten. Die südliche Hemisphäre ist durch die geringere Bevölkerungsdichte deshalb weniger betroffen. Ozeane absorbieren zudem Kohlenstoffmonoxid und führen so zu einer geringeren Belastung auf der Südhalbkugel.

NO₂: Eine große Quelle von Stickstoffdioxid ist der Verkehr. Deshalb sind in Städten und Ballungsgebieten höhere NO₂ Konzentrationen vorzufinden. Außerdem führt die Bildung von Inversionswetterlagen über großen Städten dazu, dass die vertikale Bewegung der Luft verhindert wird. So sammelt sich das Gas nahe der Erdoberfläche und wird langsamer wegtransportiert.

O₃: Die Konzentration von Ozon ist am Äquator geringer als in der nördlichen Hemisphäre, da Länder der nördlichen Hemisphäre stärker industrialisiert sind und es so zu einer höheren Emission von Ozonbildenden Stoffen kommt. Außerdem findet am Äquator eine stärkere vertikale Durchmischung der Atmosphäre statt, sodass das Ozon schneller verteilt wird.

CH₄: Bestimmte landwirtschaftliche Praktiken, wie beispielsweise der Reisanbau oder die Viehzucht führen zu einem hohen Ausstoß an Methan in die Atmosphäre. Die Zersetzung organischer Materie in tropischen Feuchtgebieten ist eine natürliche Methanquelle.

3. Könnt ihr auch Unterschiede zwischen den Jahren feststellen? Ändert hierfür den angezeigten Zeitabschnitt unter der Karte und vergleicht zwischen den 6 Jahren 2018-2023. Gibt es Jahre, die mit einer besonders hohen oder besonders niedrigen Konzentration auffallen?

CO: Eher geringe globale Konzentration in den Jahren 2018, 2020 und 2022, besonders hohe Belastung in den Jahren 2021 & 2023.

NO₂: Vergleichbare Konzentration in allen Jahren.

O₃: Etwas geringere Konzentration im Jahr 2018, sonst vergleichbar.

CH₄: Deutliche Zunahme der Konzentration seit 2020 mit besonders hohen Werten im Jahr 2023.

Aufgabe 3

Diese Aufgabe kann je nach verfügbarer Zeit unterschiedlich detailliert ausgeführt werden. Die Schüler und Schülerinnen können ihre Antworten mündlich vergleichen, vorne präsentieren oder sogar ein Poster anfertigen.

Präsentiert die Informationen, die ihr über euer Treibhausgas herausgefunden habt der Klasse. Vergleicht eure Antworten aus **Aufgabe 2** und **Aufgabe 3** mit den anderen Gruppen. Welche Unterschiede und welche Gemeinsamkeiten fallen euch auf?

Lösung:

(offene Antwortmöglichkeiten, beispielhaft):

- Alle Treibhausgase stammen hauptsächlich aus anthropogenen Quellen bzw. wird das natürliche Vorkommen in der Atmosphäre durch anthropogene Prozesse verstärkt.
- Die räumliche Verteilung der Gase variiert global. Oft können jedoch höhere Konzentrationen in Regionen mit einer höheren Bevölkerungsdichte und fortgeschrittener Industrialisierung beobachtet werden. Die Südhalbkugel ist meistens weniger betroffen als die Nordhalbkugel.
- In der zeitlichen Verteilung haben die Gase eher weniger Gemeinsamkeiten.

Aufgabe 4

Diskutiert in der Klasse mit eurem neu erlangten Wissen über den anthropogenen Klimawandel, wie realistisch das Einhalten des Pariser Klimaabkommens auf der globalen Ebene ist. Welche Maßnahmen müssen getroffen werden und welche der IPCC Klimaszenarien haltet ihr für realistisch?

Lösung:

Diese Aufgabe soll zu einer konstruktiven Diskussion in der Klasse führen, in denen die Schüler und Schülerinnen ihr, in dieser Unterrichtseinheit gelerntes, Wissen einordnen. Für diese Aufgabe gibt es keinen konkreten Lösungsweg.

Quellen

BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (bpb) (2017): Methan in der Atmosphäre (CH₄). Unter: <https://www.bpb.de/themen/umwelt/anthropozoen/503732/methan-in-der-atmosphaere-ch4/>

EWE (2025): Ozon. Unter: <https://www.ewe.com/de/zukunft-gestalten/klimaschutz/klimapedia/o/ozon>

UMWELTBUNDESAMT (2013): Woher stammen Stickstoffoxide? Unter: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/woher-stammen-stickstoffoxide-nox>

UMWELTBUNDESAMT (2023): Kohlenmonoxid. Unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/kohlenmonoxid>