



# Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?

## Übersicht

Themen:	Klimawandel, CO <sub>2</sub> -Konzentration, Satellitendaten
Fächer:	Physik, Geographie, Naturwissenschaften
Jahrgangsstufe:	9-13
Medien & Material:	interaktives browserbasiertes Grafiktool, Arbeitsblatt
Umfang:	90 min
Leitfrage:	Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO <sub>2</sub> -Konzentration gemessen?

## Kompetenzen

### Sachkompetenz:

Die SuS...

- ... erklären die Bedeutung satellitengestützter Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration.
- ... beschreiben den Einfluss verschiedener Faktoren auf satellitengestützte Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration.
- ... vergleichen simulierte und echte bzw. gemessene Reflexionsspektren miteinander.
- ... verdeutlichen mit den simulierten Reflexionsspektren die Anforderungen satellitengestützter CO<sub>2</sub>-Messungen.

### Methodenkompetenz:

Die SuS...

- ... bestimmen und erläutern satellitengestützte CO<sub>2</sub>-Messungen mit Hilfe eines interaktiven browserbasierten Grafiktools.
- ... verwenden simulierte Reflexionsspektren aus dem interaktiven browserbasierten Grafiktool zum Vergleich unterschiedlicher Satellitenmessungen.
- ... erleben den Prozess der Erkenntnisgewinnung, indem sie ihre Vorgehensweisen und Ergebnisse diskutieren.

# Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?

## Urteilskompetenz:

Die SuS...

... bewerten eigene Arbeitsergebnisse kritisch mit Bezug auf die zugrunde gelegte Fragestellung.

... beurteilen verschiedene Faktoren auf die Messung von CO<sub>2</sub>-Konzentration nach fachlichen Kriterien und unter Berücksichtigung eigener Arbeitsergebnisse.

## Handlungskompetenz:

Die SuS....

... präsentieren Arbeitsergebnisse sach-, problem- und adressatenbezogen sowie fachsprachlich angemessen.

## Lehrplanbezug

Diese Unterrichtseinheit fokussiert die Sach- und Methodenkompetenz. Eine kurze Ausführung wird anhand des Kernlehrplans Geographie in NRW vorgenommen. Durch das Arbeiten mit Satellitendaten wird insbesondere die Methodenkompetenz gefördert. Mit dieser Lerneinheit lassen sich die Teilkompetenzen an das Inhaltsfeld *Lebensräume und deren naturbedingte sowie anthropogen bedingte Gefährdung* anknüpfen, indem eine Beschäftigung mit CO<sub>2</sub>-Emissionen stattfindet. Die Unterrichtseinheit bietet eine Erweiterung zu *Raumwirksamkeit von Energieträgern und Energienutzung*.

	Physik	Geographie
Baden-Württemberg	9-10	11-12
Berlin/Brandenburg	10	10-12
Bayern	10-12	11-12
Bremen	11-13	10-13
Niedersachsen	11-13	10-13
Nordrhein-Westfalen	12-13	10-13

# Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?

## Weitere Informationen

Detaillierte Hintergrundinformationen zu diesem Thema befinden sich im Dokument „CO<sub>2</sub>-Messung\_Hintergrundinfos“. Interessierte Lehrkräfte und Schüler:innen können sich die Hintergrundinformationen bei Bedarf anschauen. Referenzen zu den Materialien stehen ebenfalls in dem Dokument.

Interaktives Tool zur Stunde: [https://www.iup.uni-bremen.de/carbon\\_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Was\\_zeigen\\_uns\\_Satelliten\\_CO2\\_Beobachtungen.html](https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Was_zeigen_uns_Satelliten_CO2_Beobachtungen.html)

Website FIS mit weiteren Lehr-Lern-Materialien zum Klimawandel: <https://www.fis.rub.de>

Die Aufgaben 8 und 9 sind als optionale Zusatzaufgaben angelegt und sind für schnelle und leistungstärkere Schüler:innen gedacht.

## Musterlösungen

<b>Leitfrage: Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?</b>
<b>Aufgabe 1:</b> Nenne die physikalische Einheit, in der die atmosphärische CO <sub>2</sub> -Konzentration üblicherweise angegeben wird, und erlautere deren Bedeutung [M1].
Einheit: ppm ( <i>parts per million</i> ). Bedeutung: Anzahl von CO <sub>2</sub> -Molekülen pro eine Millionen Luftmoleküle.
<b>Aufgabe 2:</b> Benenne einige große Quellen und Senken von CO <sub>2</sub> [M1].
Quellen: Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Energieerzeugung seit der industriellen Revolution. Senken: Boreale Wälder, Ozeane in mittleren Breiten, Moore, Böden.
<b>Aufgabe 3:</b> Erkläre, wofür satellitengestützte Messungen der atmosphärischen CO <sub>2</sub> -Konzentration benötigt werden [M1].
Globale Beobachtung der Emissionen und Emissionsminderungsmaßnahmen, besseres Verständnis der Prozesse des Kohlenstoffzyklus und so genauere Klimaprognosen.
<b>Aufgabe 4:</b> In der interaktiven Grafik befinden sich für jede der fünf Messungen eine echte Satellitenmessung und eine Simulation. Nenne die Parameter, die für die Simulationen verwendet werden, und beschreibe ihren Einfluss auf die simulierte Strahlung. Achte dabei darauf, wie sich die Wellen beim Verschieben verändern [M1].

# Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?

Albedo: Skalierung des gesamten Spektrums.

H<sub>2</sub>O vertikale Säule: Tiefe der H<sub>2</sub>O-Linien.

CO<sub>2</sub>-Konzentration: Tiefe der CO<sub>2</sub>-Linien.

**Aufgabe 5:** Verschiebe die Regler in der interaktiven Grafik [M1] so, dass Du das simulierte mit dem gemessenen Reflexionsspektrum in bestmögliche Übereinstimmung bringst. Beschreibe dabei grob Dein Vorgehen und tausche Dich mit Deinem/r Partner/in aus.

1) Stelle die Albedo so ein, dass bestmögliche Übereinstimmung in den absorptionsfreien Bereichen (z. B. bei 1595,5 nm und 1620,0 nm) entsteht.

2) Stelle die CO<sub>2</sub>-Konzentration so ein, dass bestmögliche Übereinstimmung in den nicht von Wasser beeinflussten Absorptionslinien (z. B. bei 1600,36 nm und 1610,06 nm) entsteht.

3) Stelle die Wasserdampfsäule so ein, dass eine bestmögliche Übereinstimmung in den Bereichen starker Absorption durch Wasserdampf entsteht (z. B. bei 1594,30 nm, 1602,12 nm und 1613,40 nm).

**Aufgabe 6:** Schaue Dir in der interaktiven Grafik die fünf gemessenen Spektren an und bearbeite folgende Aufgaben:

- Vervollständige die Tabelle mit Deinen ermittelten Werten und ordne die folgenden Orte begründet den Messungen zu [M2]: Tropen, Deutschland, Wolke, Sahara. Diskutiere kurz, welche der fünf Messspektren eine echte Satellitenmessung darstellt.
- Beschreibe, wie sich das simulierte Spektrum ändert, wenn man die Winkel der Messung ändert, und diskutiere den Grund für die Änderung. Diskutiere, ob es möglich ist, die CO<sub>2</sub>-Konzentration zu bestimmen, wenn einer der Winkel nicht bekannt wäre.
- Erläutere in wenigen Sätzen, warum für die Messungen viele schmale Wellenlängenbänder sinnvoller sind als wenige breite Wellenlängenbänder [M1].

- 1)  $\alpha = 0,330$ ; H<sub>2</sub>O = 1,90 g/cm<sup>2</sup>; CO<sub>2</sub> = 422 ppm
- 2)  $\alpha = 0,630$ ; H<sub>2</sub>O = 1,40 g/cm<sup>2</sup>; CO<sub>2</sub> = 412 ppm
- 3)  $\alpha = 0,270$ ; H<sub>2</sub>O = 4,60 g/cm<sup>2</sup>; CO<sub>2</sub> = 396 ppm
- 4)  $\alpha = 0,540$ ; H<sub>2</sub>O = 0,40 g/cm<sup>2</sup>; CO<sub>2</sub> = 261 ppm
- 5)  $\alpha = 0,296$ ; H<sub>2</sub>O = 0,65 g/cm<sup>2</sup>; CO<sub>2</sub> = 394 ppm

# Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?

Tropen	Spektrum 3: sehr große Wasserdampfsäule
Deutschland	Spektrum 2, relative hohe CO <sub>2</sub> -Konzentration, moderate Albedo und Wasserdampfsäule, relativ tief stehende Sonne
Wolke	Spektrum 4: sehr hohe Albedo, sehr geringe scheinbare CO <sub>2</sub> -Konzentration (aufgrund des verkürzten Lichtweges)
Sahara	Spektrum 1: Hohe Albedo, niedrige Wasserdampfsäule, hochstehende Sonne
Echte Messung	Spektrum 5: der Fit ist nicht perfekt möglich aufgrund der sehr stark vereinfachten Simulation und Rauschen auf der Messung

- b) Die Winkel ändern die Länge des Lichtweges durch die Atmosphäre, wobei längere Lichtwege zu tieferen Linien führen da mehr CO<sub>2</sub>-Moleküle innerhalb des Lichtwegs liegen. Eine Veränderung des Lichtwegs wirkt sich genauso auf das Spektrum aus, wie eine Änderung der Absorbermengen. Man kann also dasselbe Spektrum mit unterschiedlichen Kombinationen aus Winkeln und Absorbermengen herstellen. Ohne die Winkel zu kennen, wäre es also nicht möglich, die CO<sub>2</sub>-Konzentration zu bestimmen.
- c) Um Bereiche mit und ohne Absorption voneinander trennen zu können und um zwischen den Absorptionslinien verschiedener Gase (z.B. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) unterscheiden zu können.

**Aufgabe 7:** Diskutiere mit Deinem/r Partner/in, warum CO<sub>2</sub>-Messungen vom Satelliten nur in (nahezu) wolkenfreien Fällen möglich sind und wie sich eine optisch Dicke (undurchsichtige) Wolke auf die Ergebnisse auswirken könnte [M1].

Wird das Sonnenlicht an einer Wolke gestreut, ist der Lichtweg nicht mehr exakt bekannt. Bei einer optisch dicken Wolke würde das Sonnenlicht nicht mehr bis zum Boden kommen, sondern bereits an der Wolke reflektiert werden. Der Lichtweg wäre also viel kürzer und damit die ermittelte CO<sub>2</sub>-Konzentration viel geringer.

# Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?

## Musterlösungen der Zusatzaufgaben

**Aufgabe 8:** Diskutiere in wenigen Sätzen, warum es sehr hohe Genauigkeitsanforderungen an CO<sub>2</sub>-Messungen durch Satelliten gibt [M1].

Überschüssiges CO<sub>2</sub> wird in der Atmosphäre nur sehr langsam abgebaut (hunderte Jahre). Deshalb gibt es bereits viel CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre und selbst große Quellen und Senken erzeugen nur relativ kleine lokale Erhöhungen im Vergleich zur Hintergrundkonzentration.

**Aufgabe 9:** Bringe zunächst die gemessene und die simulierte Strahlung für Messung 2 in Übereinstimmung [M1]. Bestimme für die CO<sub>2</sub>-Absorptionslinie bei 1602,54 nm, um wie viel Prozent sich das simulierte Signal ändert, wenn die CO<sub>2</sub>-Konzentration um 1 ppm erhöht wird. Vergleiche dies qualitativ mit der Unsicherheit der Satellitenmessung und diskutiere, warum Satellitenmessungen dennoch Genauigkeiten erreichen können, die besser als 1 ppm sind.

Die Änderung beträgt 0,063% und ist damit deutlich kleiner als die Unsicherheit der Messung an dieser Stelle. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration könnte aus solch einer Messung dennoch mit einer höheren Genauigkeit als 1 ppm bestimmt werden, da innerhalb des Spektrums sehr viele Messungen in verschiedenen Wellenlängen-Bereichen vorgenommen werden.

# Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?

## Stundenverlaufsplan

### 1. Stunde

Zeit	Phase	Unterrichtsgeschehen / Methodisch-didaktischer Kommentar	Sozialform	Medien
< 5 Min	Einstieg	Die SuS entwickeln gemeinsam im Plenum die Leitfrage der Stunde: <i>Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?</i> Die Fragestellung der Stunde sollte gut sichtbar an die Tafel geschrieben werden.	Plenum	Tafel
10 Min	Erarbeitung	Erarbeitung der Grundlagen über CO <sub>2</sub> und Satellitenmessungen.	EA	AB Nr. 1, 2, interaktive Grafik
<5 Min	Zwischensicherung	Im Plenum werden die Ergebnisse herausgearbeitet.	Plenum	
10 Min	Erarbeitung	SuS erklären den Nutzen satellitengestützter Messungen und nennen Parameter und ihren Einfluss auf die simulierte Strahlung. Erste Annäherung mit dem interaktiven Tool.	EA	AB Nr. 3, 4, interaktive Grafik
<10 Min	Erarbeitung	SuS bringen die Regler in Übereinstimmung und machen sich mit dem Tool vertraut.	EA/PA	AB Nr. 5, interaktive Grafik
5 Min	Sicherung	Besprechung der Ergebnisse und erste Beantwortung der Leitfrage durch Diskussion der Vermutungen und als Überleitung zur nächsten Stunde.	Plenum	

# Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?

## 2. Stunde

Zeit	Phase	Unterrichtsgeschehen / Methodisch-didaktischer Kommentar	Sozialform	Medien
5 Min	Einstieg	Kurze Wiederholung im Plenum, was letzte Stunde gemacht wurde. Wiederholung sorgt dafür, dass auf die Leitfrage eingegangen werden kann: <i>Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?</i> Überleitung durch Leitfrage auf AB Nr. 6	Plenum	Tafel
15 Min	Erarbeitung	Vertiefung des Wissens durch Aufgaben mit erhöhtem Anforderungsniveau und Transferleistung.	EA	AB Nr. 6, interaktive Grafik
5 Min	Zwischensicherung	Die Ergebnisse der Aufgaben Nr. 5 und 6 werden im Plenum präsentiert und diskutiert. Die (ausgefüllten) Tabellen [M2] können über einen Beamer sichtbar gemacht werden.	Plenum	Evtl. Beamer
10 Min	Erarbeitung (Erarbeitung)	SuS diskutieren Auswirkungen einer undurchsichtigen Wolke. Partnerarbeit ermöglicht kooperative Arbeit.  Freiwillige Zusatzaufgaben: Vertiefung des erarbeiteten Wissens. SuS diskutieren Genauigkeitsanforderungen.	PA EA	AB Nr. 7, interaktive Grafik AB Nr. 8, 9 interaktive Grafik
5 Min	Zwischensicherung	Die Ergebnisse der Aufgabe Nr. 7 werden im Plenum präsentiert.	Plenum	
5 Min	Sicherung	Im Sinne des Think-Pair-Share beantworten die SuS die Leitfrage der Stunde: <i>Wie wird mit Satelliten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen?</i>	Plenum	Tafel