

# Wie hat sich die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration in den letzten 450 Millionen Jahren entwickelt?

## Aufgaben

1. Nenne die physikalische Einheit, in der die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration üblicherweise angegeben wird, und erkläre deren Bedeutung [M1].
2. Nenne und beschreibe mit wenigen Worten vier Methoden, mit denen die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration bestimmt werden kann [M1].
3. Bestimme, bis zu welchem Jahr die dargestellten Proxy-, Eisbohrkern-, In-situ- und Satellitendaten in die Vergangenheit zurückreichen [M2]. Diskutiere mit Deinem/r Partner/in, warum kleine Unterschiede zwischen den Messwerten unterschiedlicher Verfahren keinen Widerspruch darstellen müssen.
4. Nutze erneut die interaktive Grafik [M2]:
  - a. Bestimme, in welchen Monaten die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration ihr Jahresmaximum und -minimum erreicht. Sieh Dir dafür die Jahre 2009-2019 an. Erkläre, wie es zu dem Jahresgang kommt und warum es Unterschiede im Jahresgang gibt.
  - b. Bestimme die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration zu Beginn der industriellen Revolution im Jahr 1750 und am Ende des Jahres 2019. Berechne, um wie viel Prozent die Konzentration angestiegen ist, und nenne den Hauptgrund für den beobachteten Anstieg.
  - c. Bestimme, wann die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration schon einmal so hoch war wie im Mai 2019.
5. Berechne mit Hilfe der interaktiven Grafik [M2], wie stark die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration in den 10.000 Jahren vor Beginn der industriellen Revolution 1750 schwankte (Maximum - Minimum) und vergleiche dies mit dem Anstieg seit 1750. Bewerte anschließend kurz die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Konzentration und beziehe dabei die Leitfrage mit ein.
6. Die Atmosphäre enthielt im Zeitraum 2010 – 2019 ca. 871 GtC (Gigatonnen Kohlenstoff) in Form von CO<sub>2</sub>. Schätze mit Hilfe der interaktiven Grafik [M2] die mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration für diesen Zeitraum ab, indem Du den Mittelwert der In-situ-CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von Juli 2010 und Juli 2019 berechnest. Berechne den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration für 1 GtC.

# Wie hat sich die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration in den letzten 450 Millionen Jahren entwickelt?

## Zusatzaufgaben

7. Diskutiert in Partnerarbeit und bearbeitet die folgenden Aufgaben [M3: Hintergrundinformationen]:
  - a. Nennt Faktoren, die die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration auf Zeitskalen im Bereich vieler Millionen Jahre beeinflussen. Beschreibt in diesem Zusammenhang ein Ereignis anhand der interaktiven Grafik.
  - b. Beschreibt den Grund für die in den Eisbohrkerndaten sichtbaren zyklisch auftretenden Schwankungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration mit einer Periodendauer von ungefähr 100.000 Jahren.
8. Die Menschen haben in den Jahren 2010 – 2019 etwa 11 GtC (Gigatonnen Kohlenstoff) pro Jahr in Form von CO<sub>2</sub> emittiert, hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler Energieträger. Berechne mit Hilfe des Ergebnisses der letzten Aufgabe, um wie viel die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration pro Jahr gestiegen wäre, wenn die gesamte emittierte Menge in der Atmosphäre verblieben wäre.  
Berechne mit Hilfe der interaktiven Grafik [M2] die tatsächliche mittlere Konzentrationsänderung pro Jahr für diesen Zeitraum und benenne den Datensatz, den Du dafür verwendet hast. Berechne, wie viel Prozent des emittierten CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre verblieb und diskutiere welche Senken das übrige CO<sub>2</sub> aufgenommen haben. Diskutiere kurz das Ergebnis im Hinblick auf die Stabilität der CO<sub>2</sub>-Konzentration.
9. Berechne mit Hilfe der interaktiven Grafik [M2] die mittlere Steigerungsrate in ppm/a zu Beginn der Eem-Warmzeit in der Periode 131.825 v.Chr. bis 126.516 v.Chr. sowie in der Periode 239 Mio. Jahre v. Chr. bis 235 Mio. Jahre v.Chr. im Erdmittelalter. Vergleiche die Werte mit der mittleren Steigerungsrate vom Beginn der industriellen Revolution 1750 bis Dezember 2019. Diskutiere, warum die heutige Situation nicht mit früheren Klimaänderungen vergleichbar ist.
10. Bestimme mit Hilfe der in der interaktiven Grafik [M2] dargestellten In-Situ-Daten die mittleren jährlichen Steigerungsraten der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration für jede Dekade seit den 1960er Jahren. Zeichne ein Diagramm Deiner Ergebnisse und diskutiere diese in wenigen Sätzen.

# Wie hat sich die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration in den letzten 450 Millionen Jahren entwickelt?

## Material 1: CO<sub>2</sub>-Konzentration und Methoden

### Die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration

CO<sub>2</sub> ist das wichtigste anthropogene Treibhausgas und hauptverantwortlich für den momentan stattfindenden Klimawandel. Die Einheit ppm (*parts per million*, „Teile pro Millionen“) gibt die Anzahl von CO<sub>2</sub>-Molekülen pro eine Millionen Luftmoleküle an. Bei 400 ppm würde die Atmosphäre an dem entsprechenden Ort im Mittel 400 CO<sub>2</sub>-Moleküle pro eine Millionen Luftmoleküle enthalten.

### Satelliten

Bei der Bestimmung der der CO<sub>2</sub>-Konzentration durch Satelliten wird reflektiertes Sonnenlicht von Sensoren gemessen und analysiert. Dabei sind vor allem Strahlungen im Infrarotbereich interessant, denn CO<sub>2</sub> absorbiert das Sonnenlicht in diesem Farbbereich, der für unser Auge nicht sichtbar ist, besonders stark. Die Stärke der Absorption lässt Rückschlüsse auf die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration zu. Satellitenmessungen ermöglichen prinzipiell globale Beobachtungen und präzise Daten, allerdings stehen uns diese erst seit etwa 20 Jahren zur Verfügung.

### In Situ

„In situ“ bedeutet so viel wie „vor Ort“. Damit sind lokale Messungen gemeint, die direkt den CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft messen. Das macht diese zur genauesten Messmethode für lokale Orte. Ein Nachteil der Methode ist allerdings eben diese Lokalität. Es können nur Rückschlüsse auf den globalen CO<sub>2</sub>-Gehalt gezogen werden. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Daten nur bis zum Beginn der Messung zurückreichen und keine Aussagen über die Jahre davor getroffen werden können. Die am weitesten zurückreichende Messreihe ist die vom Mauna Loa in Hawai'i. Hier wird der CO<sub>2</sub>-Gehalt seit 1958 gemessen.

# Wie hat sich die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration in den letzten 450 Millionen Jahren entwickelt?

## Eisbohrkerne

Um länger zurückliegende Daten über den CO<sub>2</sub>-Gehalt gewinnen zu können, werden Eisbohrkerne von verschiedenen Orten der Antarktis entnommen. In diesen befinden sich eingeschlossene Luftbläschen, deren CO<sub>2</sub>-Gehalt im Labor gemessen werden kann. Die Tiefe im Eis ermöglicht eine Datierung der Messdaten. So kann der CO<sub>2</sub>-Gehalt der letzten 800.000 Jahre relativ genau bestimmt werden – allerdings nicht so genau, wie In situ oder Satellitendaten.

## Proxy-Daten

Für sehr weit in der Vergangenheit liegende Zeiten gibt es keine direkten Messungen der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration, sondern Stellvertreter-Größen, sogenannte Proxy-Größen. Zum Beispiel lassen sich verschiedene Fossilien von Blättern analysieren, denn je größer die Spaltöffnungen in den Blättern sind, desto weniger CO<sub>2</sub> muss in der Atmosphäre gewesen sein. Mit dieser Methode kann der CO<sub>2</sub>-Gehalt der letzten 450 Millionen Jahre errechnet werden. Nachteile der Methode sind sowohl die Ungenauigkeit in der Abschätzung des CO<sub>2</sub>-Gehalts als auch des genauen Zeitpunktes, wodurch die Angaben insgesamt mit hohen Unsicherheiten verbunden sind.

## Material 2: Interaktives Tool zur Entwicklung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration

Das interaktive Tool ist unter folgendem Link abrufbar:

[https://www.iup.uni-bremen.de/carbon\\_ghg/Clim4Edu/interaktiv/CO2\\_im\\_Laufe\\_der\\_Zeit.html](https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/CO2_im_Laufe_der_Zeit.html)

## Material 3: Hintergrundinformationen

Die Hintergrundinformationen zu den Aufgaben 7 bis 10 befinden sich im Dokument „CO<sub>2</sub>-Entwicklung\_Hintergrundinfos“, das Deine Lehrkraft zur Verfügung stellt.