

Sekundarstufe  
**11-14**



Bildungsressourcenpaket

# DER KOHLENSTOFFKREISLAUF

Lehrerhandbuch  
und Schüler\*Innen-Arbeitsblätter



DER KOHLENSTOFFKREISLAUF: Übersicht	Seite 3
Zusammenfassung der Aktivitäten	Seite 5
Die Webanwendung <i>Climate from Space</i>	Seite 8
Kohlenstoff und Klima: Hintergrundinformationen	Seite 9
Aktivität 1: DER KOHLENSTOFFKREISLAUF	Seite 12
Aktivität 2: Die OZEANVERSAUERUNG	Seite 16
Aktivität 3: BEOBACHTUNG VON KOHLENSTOFF AUS DEM WELTRAUM:	Seite 23
Schüler*innen (SUS) Arbeitsblatt 1	Seite 26
SuS-Arbeitsblatt 2	Seite 28
SuS-Arbeitsblatt 3	Seite 33
Informationsblatt 1: Der Kohlenstoffkreislauf	Seite 35
Links	Seite 39

Klimawandel-Initiative Bildungsressourcenpaket - DER KOHLENSTOFFKREISLAUF  
<https://climate.esa.int/de/educate/>

Aufgabenkonzepte entwickelt von der University of Twente (NL) und  
National Centre for Earth Observation (UK)

Das ESA-Climate Office begrüßt Feedback und Kommentare  
<https://climate.esa.int/de/helpdesk/>

Erstellt vom ESA Climate Office  
Copyright © European Space Agency 2020-2021

# DER KOHLENSTOFFKREISLAUF: Übersicht

## Schnelle Fakten

**Fächer:** Naturwissenschaften, Chemie, Biologie, Geowissenschaften

**Altersgruppe:** 11-14 Jahre

**Aufgabenstellung:** Lesen, praktische Aktivitäten und Internetrecherche

**Komplexität:** mittel bis fortgeschritten

**Erforderliche Unterrichtszeit:** 4 Stunden

**Kosten:** niedrig (5-20 Euro)

**Ort:** drinnen

**Hilfsmittel :** Internet-, Präsentations- und Bildsoftware, Säuren im Haushalt

**Stichworte:** Kohlendioxid, Methan, Kohlenstoff (CO<sub>2</sub>)-Fußabdruck, Kohlenstoffzyklus, Emission, Quelle, Senke, Treibhausgas, Satellit, Erdbeobachtung, Phytoplankton, Biomasse, Permafrost

## Kurzbeschreibung

Bei dieser Reihe von Aktivitäten lernen die SuS etwas über den Kohlenstoffkreislauf und nutzen das Wissen über diesen Kreislauf, um Maßnahmen auf individueller und gemeinschaftlicher Ebene zur Verringerung der in die Atmosphäre abgegebenen Kohlenstoffmenge zu herauszufinden.

Eine praktische Aktivität, bei welcher Haushaltsmaterialien verwendet werden, befasst sich mit den Auswirkungen der Versauerung der Ozeane. Hier können die SuS ein präziseres Experiment entwerfen, welches in einem Labor durchgeführt werden kann.

Bei der letzten Aktivität verwenden die SuS reale Klimadaten aus der Webanwendung *Climate from Space - Klima aus dem Weltraum*, um Fragen in Bezug auf einen Teil des Kohlenstoffkreislaufs zu untersuchen.

## Lernziel

**Nach Durchführung der Aktivitäten werden SuS die in der Lage sein:**

- ein Diagramm, das den Kohlenstoffkreislauf mit seinen schnellen und langsamen Komponenten darstellt zu erstellen.
- das Wissen über den Kohlenstoffkreislauf zu nutzen, um Maßnahmen zur Eindämmung des vom Menschen verursachten Klimawandels zu ermitteln.
- wissenschaftlich zu erklären, warum eine solche Maßnahme vermutlich Auswirkungen haben wird.
- Einfühlungsvermögen für andere Standpunkte zu entwickeln.
- die Auswirkungen des erhöhten Säuregehalts der Ozeane auf Meeresorganismen zu beschreiben.

- experimentelle Techniken und Schätzungen zu bewerten und bestehende Methoden, um zusätzliche Informationen zu finden, zu erweitern.
- die Webanwendung *Climate from Space*, um Fragen zum Kohlenstoffkreislauf zu untersuchen, zu verwenden.
- die wichtigsten Informationen zur Informationsweitergabe auszuwählen..

## Zusammenfassung der Aktivitäten

	Titel	Beschreibung	Aufgaben und Ergebnisse	Vorkenntnisse	Zeit
1	Der Kohlenstoffkreislauf	Leseaufgabe und optionale Bewertungsaktivität (Spiel)	Erstellt ein Diagramm, das den Kohlenstoffkreislauf mit seinen schnellen und langsamen Komponenten darstellt. Nutzt das Wissen über den Kohlenstoffkreislauf, um Maßnahmen zu ermitteln, die zur Eindämmung des vom Menschen verursachten Klimawandels beitragen können. Erläutert wissenschaftlich, warum eine solche Maßnahme vermutlich Auswirkungen haben wird. Das Erlangen von Einfühlungsvermögen in andere Standpunkte.	Grundverständnis über Nahrungsketten, Photosynthese, Treibhauseffekt und Gesteinskreislauf sind wünschenswert, aber nicht Voraussetzung	Eine Stunde und eine halbe Stunde für fakultative Bewertungsaktivitäten
2	Versauerung der Ozeane	Praktische Übungen	Beschreibt die Auswirkungen des erhöhten Säuregehalts der Ozeane auf die Meeresorganismen. Bewertet experimentelle Techniken und Schätzungen. Erweitert bestehende Methoden, um zusätzliche Informationen zu finden.	Keine	Aufbau: eine halbe Stunde, fünf Minuten nach etwa einer Stunde und einmal täglich für die nächsten zwei oder drei Tage; Plenum: eine halbe Stunde
3	Kohlenstoff aus dem Weltraum beobachten	Forschungsaufgabe	Verwendet die Webanwendung Climate from Space, um Fragen zum Kohlenstoffkreislauf zu untersuchen. Wählt die wichtigsten Informationen zur Informationsweitergabe aus.	Der Kohlenstoffkreislauf - z. B. Aktivität 1	Anderthalb Stunden

Die angegebenen Zeiten gelten für die Hauptübungen, wobei ein vollständiger IT-Zugang und/oder die Verteilung der sich wiederholenden Berechnungen und Diagramme in der Klasse vorausgesetzt werden. Sie geben genügend Zeit für den Austausch von Ergebnissen, aber nicht für die Präsentation der Ergebnisse, da dies von der Größe der Klasse und der Gruppen abhängt. Alternative Ansätze können mehr Zeit in Anspruch nehmen.

## Praktische Hinweise für die Lehrkraft

Das für jede Aktivität **benötigte Material** wird zu Beginn eines jeweiligen Abschnitts zusammen mit Hinweisen zu den eventuellen Vorbereitungen aufgeführt, die über das Kopieren von Arbeitsblättern und Informationsblättern hinausgehen.

Die **Arbeitsblätter** sind für die einmalige Verwendung bestimmt und können schwarz-weiß kopiert werden.

Die **Informationsblätter** können größere Bilder enthalten, welche Sie bei Ihren Präsentationen im Klassenzimmer miteinbeziehen können. Diese enthalten zusätzliche Informationen oder Daten für die SuS und deren Arbeiten. Diese Arbeitsmittel werden am besten in Farbe gedruckt oder kopiert und können wiederverwendet werden.

Alle **zusätzlichen Tabellen, Datensätze oder Dokumente**, die für die Übung benötigt werden, können mit folgendem Link heruntergeladen werden:

<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>

**Erweiterungsideen** und Vorschläge zur **Differenzierung** sind an geeigneten Stellen in der Beschreibung jeder Aktivität enthalten.

Arbeitsblattantworten und Beispielergebnisse für praktische Übungen sind zur Unterstützung der **Auswertung** enthalten. Im entsprechenden Teil der Aktivitätenbeschreibung sind die Möglichkeiten zur Verwendung lokaler Kriterien zur Bewertung von Kernkompetenzen, wie Kommunikation oder Datenverarbeitung, aufgeführt.

### Gesundheit und Sicherheit

Es wird vorausgesetzt, dass bei der Durchführung aller Aktivitäten die regulären Verfahren bei der Verwendung von Geräten (einschließlich elektrischer Geräte wie z. B. Computer) und bei Bewegung innerhalb der Lernumgebung, beim Stolpern und Verschütten, einschließlich der Erste Hilfe Maßnahmen usw. eingehalten werden. Da die Notwendigkeit dieser Maßnahmen allgemeingültig ist, aber im Detail bei ihrer Umsetzung sehr unterschiedlich ist, werden diese nicht jedes Mal erneut aufgelistet. Stattdessen werden die Gefahren hervorgehoben, die für eine bestimmte praktische Tätigkeit besonders wichtig sind, um das jeweilige Risiko einzuschätzen.

Einige dieser Aktivitäten verwenden die Webanwendung *Climate from Space*. Es ist möglich, von hier aus zu anderen Teilen der Website der ESA CLIMATE CHANGE INITIATIVE und von dort aus zu externen Websites zu gelangen. Falls Sie die Seiten, die sich die SuS ansehen können, nicht einschränken können oder möchten, weisen Sie sie auf die lokalen Regeln zur Internetsicherheit hin.

## Die Webanwendung *Climate from Space*

ESA Satelliten spielen eine wichtige Rolle bei der Überwachung des Klimawandels. *Climate from Space - Klima aus dem Weltraum* ([cfs.climate.esa.int](https://cfs.climate.esa.int)) ist eine Online-Ressource, die anhand von illustrierten Geschichten zusammenfasst, wie sich unser Planet verändert und die Arbeit von ESA-Wissenschaftlern hervorhebt.

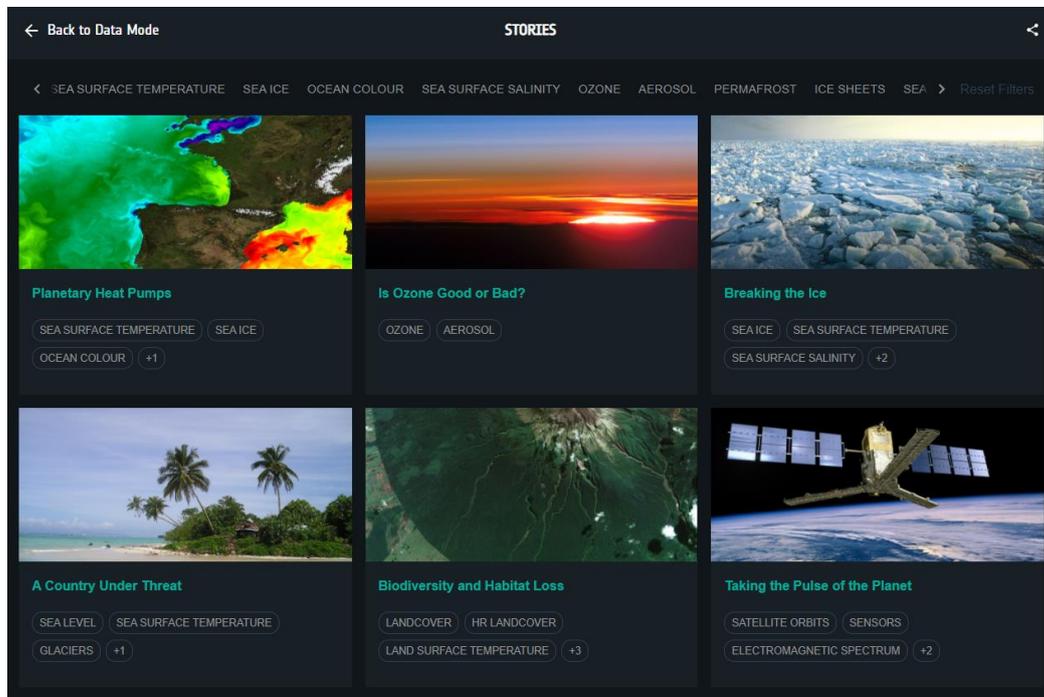


Abbildung 1: Klimageschichten aus dem Weltraum (Quelle: ESA CCI)

Das Programm CLIMATE CHANGE INITIATIVE der ESA erstellt zuverlässige globale Aufzeichnungen einiger wichtiger Aspekte des Klimas, die als wesentliche Klimavariablen (ECVs, Essential Climate Variables) bekannt sind. Die Webanwendung *Climate from Space* ermöglicht es Euch, mehr über die Auswirkungen des Klimawandels zu erfahren, indem Ihr diese Daten selbst untersucht.

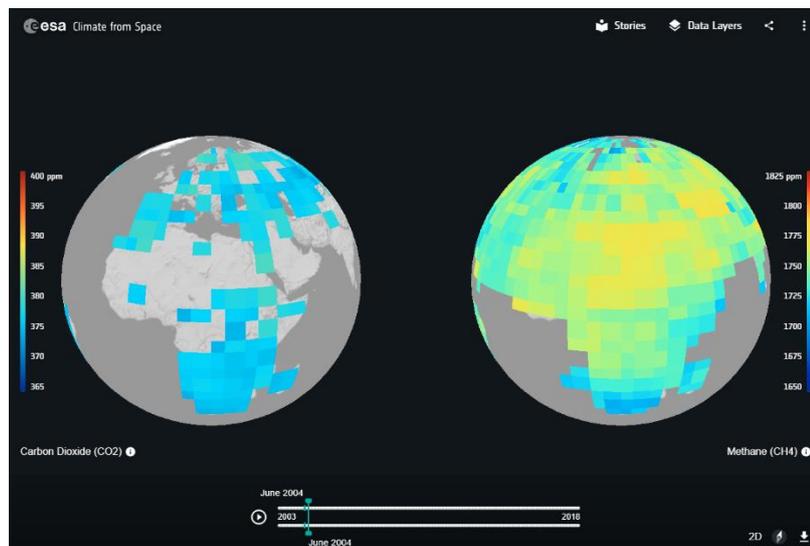


Abbildung 1: Vergleich von Kohlendioxid- und Methandaten in der Webanwendung *Climate from Space* (Quelle: ESA CCI)

# Kohlenstoff und Klima: Hintergrundinformationen

## Der Kohlenstoffkreislauf

Die relative Häufigkeit von Kohlenstoff in der Erdatmosphäre und der Erdkruste ist erstaunlich gering. In beiden Fällen beträgt sie weniger als 0,5 %. Dennoch sind Kohlenstoffverbindungen lebenswichtig, da sie das Gewebe aller Lebewesen bilden. Der gesamte organische Kohlenstoff, und fast alle Stoffe, die in den Ozeanen und im Boden unter unseren Füßen gespeichert sind, wurden zunächst durch Photosynthese aus der Atmosphäre gebunden. Einzelne Atome werden Teil verschiedener Moleküle, die in verschiedenen Speichern (Senken) aufbewahrt werden, und es kann Sekunden oder Äonen dauern, bis sie in die Atmosphäre zurückkehren.

Es ist gut bekannt, auf welche Weise sich Kohlenstoff durch den Kohlenstoffkreis bewegt. Dies wird auf Informationsblatt 1 beschrieben (s. Abb. 3). Da jedoch menschliche Aktivitäten den Kreislauf stören, indem sie Kohlenstoffverbindungen schneller in die Atmosphäre freisetzen, als sie absorbiert werden, wird immer größerer Bedeutung, herauszufinden, wie viel Kohlenstoff in verschiedenen Senken oder Reservoirs gespeichert ist und wie viel durch jeden Prozess übertragen wird. Dies gilt insbesondere für Situationen, in denen eine Erwärmung des Planeten zu

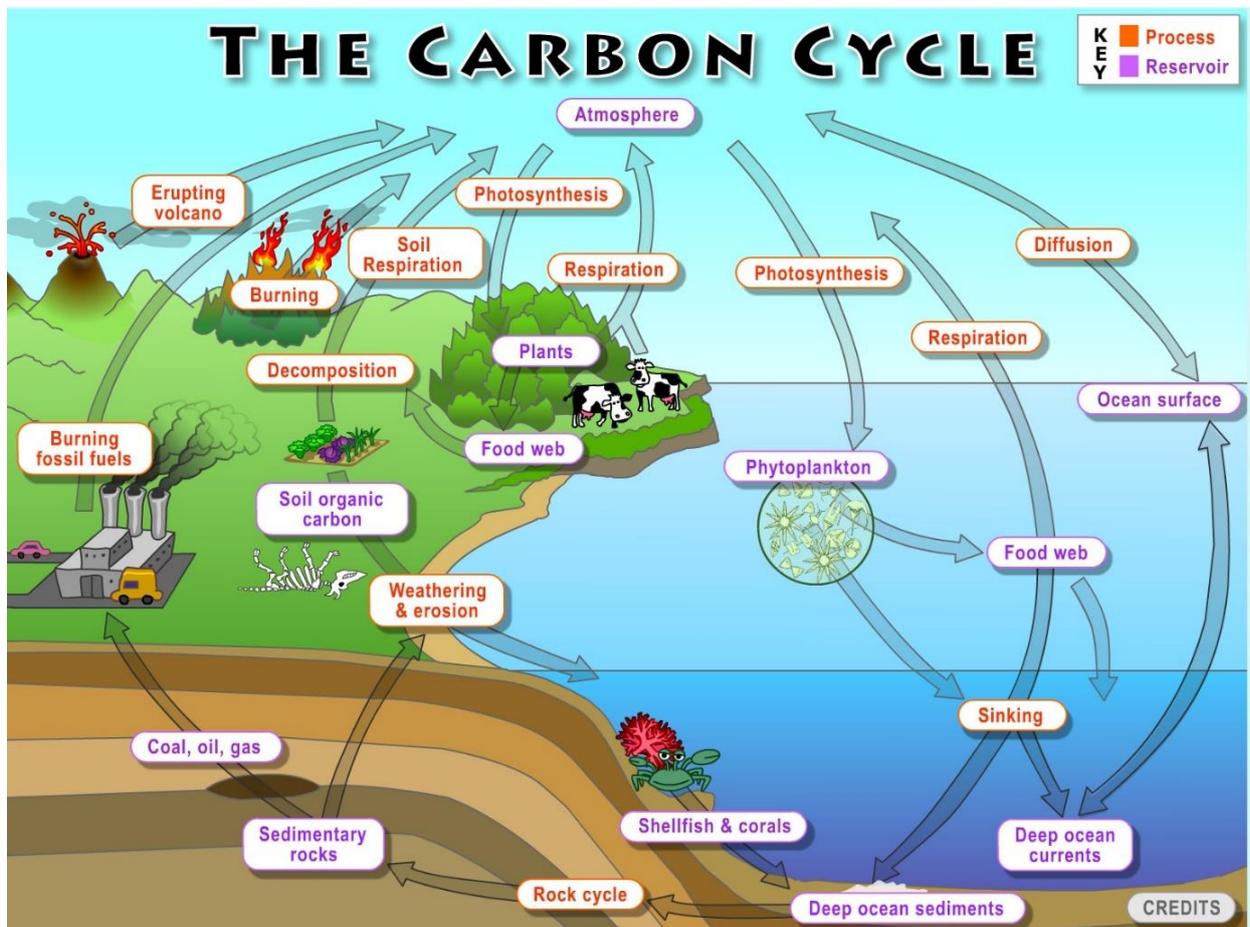


Abbildung 3: Der Kohlenstoffkreislauf (Quelle: Jeff Lockwood, verwendet unter CC BY-NC-SA 3.0)

positiven Rückkopplungen führen kann. So trägt beispielsweise das aus dem auftauenden Permafrostboden freigesetzte Methan zur weiteren Erwärmung bei.

## Klimawandel und Kohlenstoffkreislauf

Einige Kontrollstrategien des Klimawandels beinhalten die Steuerung des Kohlenstoffkreislaufs, die Erhöhung der in Senken gespeicherten Kohlenstoffmenge und die Verringerung der Emissionen. Die Abb. 4 zeigt die Größe einiger dieser Speicher und Transporter (Flüsse). Bei der Aktivität 1 können die SuS individuelle und gemeinschaftliche Handlungen mit diesen Prozessen in Zusammenhang bringen.

### The global carbon cycle

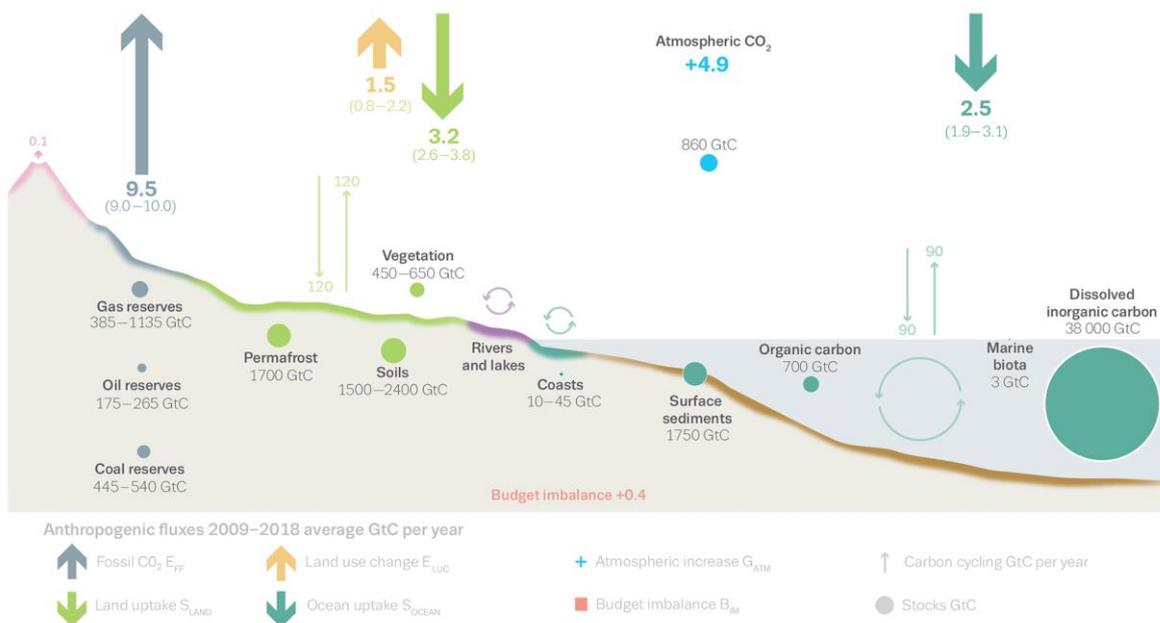


Abbildung 4: Die Auswirkungen des Menschen auf den globalen Kohlenstoffkreislauf (Quelle: Pierre Friedlingstein, Matthew W. Jones, Michael O'Sullivan et al.; verwendet unter CC BY-SA 4.0)

## Die Erhebung von Kohlenstoffdaten

Wie die Abb. 3 und 4 zeigen, benötigen wir Informationen über eine Vielzahl von Einzelheiten, wenn wir den Kohlenstoffkreislauf und seine Auswirkungen auf das Klima verstehen wollen. Das Sammeln von Daten, z. B. über den Anteil des Bodens, der während des ganzen Jahres in der gesamten Arktis gefroren bleibt, wäre nicht möglich, wenn wir nur auf dem Boden selbst Messungen durchführen könnten. Einige Satelliten, welche die Erde umkreisen, "schauen" alle fünfzehn Minuten auf eine Hemisphäre. Andere überfliegen jeden Teil des Planeten etwa alle zehn Tage. Ein einziges Satellitenbild kann mehr Informationen enthalten, als ein Heer von Menschen auf dem Boden zu sammeln imstande wäre.

Sensoren auf Satelliten können nicht nur Bilder produzieren, die das Aussehen der Erde zeigen, was uns zum Beispiel dabei helfen kann, zu überwachen, wie wir Land nutzen. Sie ermöglichen es uns auch, viele Variablen zu messen, die mit den Teilen des Kohlenstoffkreislaufs zusammenhängen, die für uns nicht sichtbar sind,

einschließlich der Konzentration von Gasen in der Atmosphäre, der Temperatur der Land- und Meeresoberfläche und der Menge des als Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs. Die Aktivität 3 gibt den SuS die Möglichkeit, mit einigen dieser Daten zu interagieren. Weitere Informationen darüber, wie diese Daten gesammelt werden, sind in den Bildungsressourcenpaketen *Taking the Pulse of the Planet* unter <https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/> zu finden.

## Aktivität 1: DER KOHLENSTOFFKREISLAUF

Diese Aktivität ermöglicht es den SuS, ein Verständnis für den Kohlenstoffkreislauf zu entwickeln. Sie lernen zu verstehen, wie menschliche Aktivitäten diesen Kreislauf stören und wie die Berücksichtigung dieses Kreislaufs uns helfen kann, Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels zu finden. Die Aufgaben unterstützen die SuS in ihren Lese- und Schreibfähigkeiten (Lesen, um zu verstehen, Schreiben, um zu informieren und zu überzeugen) und ermutigen sie, kritisch über ihr Wissen nachzudenken und Empathie zu zeigen, um andere Standpunkte zu berücksichtigen. Einige oder alle Aufgaben auf dem Arbeitsblatt können als Hausaufgaben aufgegeben werden: Die unten stehende Beschreibung schlägt, ergänzt durch eine zusätzliche Aktivität, eine Möglichkeit vor das Arbeitsblatt im Unterricht einzusetzen.

### Arbeitsmaterial

- Informationsblatt 1 (2 Seiten)
- SuS-Arbeitsblatt 1
- Webanwendung *Climate from Space*: Geschichte des Kohlenstoffkreislaufs (optional)
- Internetzugang
- Materialien zur Erstellung von Postern oder eine Bildgestaltungs- u. Bearbeitungssoftware, mit welcher die SuS vertraut sind (optional)
- Ein Tennisball oder Volleyball pro Gruppe von 4 - 6 SuS (optional)

### Aktivität

1. Lesen Sie das Informationsblatt 1 im Plenum oder bitten Sie die SuS, es wie in den Schritten 1 und 2 auf dem Arbeitsblatt 1 für die SuS beschrieben, einzeln oder in Gruppen zu lesen.  
Falls die SuS in Partnerarbeit oder in Gruppen arbeiten, ermutigen Sie sie, ihr Verständnis in Bezug auf die fettgedruckten Begriffe mitzuteilen und nur dann auf frühere Arbeiten, Lehrbücher oder das Internet zu verweisen, wenn keiner von ihnen mit dem Konzept vertraut ist.  
Falls Sie mit der gesamten Klasse arbeiten, können Sie das zweite Lesen des Informationsblattes mit Bildern aus der Geschichte über den *Kohlenstoffkreislauf*, insbesondere mit dem Video auf Folie 4. in der Webanwendung *Climate from Space*, illustrieren.
2. Bitten Sie die SuS, Diagramme zum Kohlenstoffkreislauf zu erstellen. Die SuS können dabei einzeln, in Partnerarbeit oder in Gruppen arbeiten. Dabei können sie DIN A4-Papier, eine ganze Seite in ihren Schulheften oder eine Bildbearbeitungssoftware oder unter Umständen auch andere Medien, je nach Zeit und verfügbaren Ressourcen, verwenden.  
Ermutigen Sie die SuS, das Diagramm nicht zu eng zu gestalten, um sicherzustellen, dass sie bei Schritt 5 des Arbeitsblatts weitere Informationen hinzufügen können.
3. Sobald die SuS Informationen über die Rolle von Methan im Kohlenstoffkreislauf in ihr Diagramm eingefügt haben (Arbeitsblattschritte 4 und 5), können Sie die

unten beschriebene Aktivität "Zirkulierender Kohlenstoff" verwenden, um ihr Verständnis des Kreislaufs zu bewerten.

Die Antworten auf die Arbeitsblattschritte 6 und 7 können ebenfalls auf diese Weise verwendet werden.

4. Der nächste Abschnitt der Aktivität konzentriert sich auf Maßnahmen zur Reduzierung der Emission. Beginnen Sie mit einer allgemeinen Diskussion über den Klimawandel. Sind die SuS der Auffassung, dass sie davon betroffen sind? Welche individuellen Maßnahmen würden sie ergreifen?
5. Die Schritte 8-10 auf dem Arbeitsblatt für SuS beziehen sich auf die Lobbyarbeit für eine Maßnahme zur Eindämmung des Klimawandels auf gesellschaftlicher Ebene. Sie können die Größe des zu berücksichtigenden Gebietes und/oder des Ortes angeben und welcher Personenkreis, damit angesprochen werden soll. (Im Vereinigten Königreich könnten die SuS beispielsweise mit Stadträten über eine Maßnahme sprechen, welche die Stadt ergreifen könnte, oder mit Abgeordneten, falls sie eine Politik auf nationaler Ebene vorschlagen). Durch Anweisungen auf dem Arbeitsblatt werden die SuS dazu aufgefordert, eine logische Argumentation für die Annahme ihres Plans zur Minderung des Risikos darzulegen, mögliche Schwachstellen zu berücksichtigen und Wege zu finden, wie sie diese beheben können.

Einige der zusätzlichen Informationen, die für eine gute Argumentation erforderlich sind (siehe die Ideen in den Antworten auf dem Arbeitsblatt, unten), sind möglicherweise recht technisch oder schwer zu beschaffen.

Trotzdem können Sie die SuS bitten, die zusätzlich benötigten Informationen zu recherchieren und sich mit einem Vorschlag an die zuständigen VertreterInnen zu wenden, insbesondere wenn sie auf Gemeindeebene arbeiten. Wenn sich ein Besuch arrangieren lässt, haben die SuS die Möglichkeit ihre Vorschläge zu präsentieren. In diesem Fall wäre es sinnvoll, wenn die SuS in Gruppen arbeiten.

### Zirkulierender Kohlenstoff (optionale Bewertungsaktivität)

Diese Aktivität muss im Freien, in einer Aula oder einer Turnhalle durchgeführt werden.

Hier sollen in Gruppenarbeit Geschichten ausgedacht werden, die zeigen, wie sich ein einzelnes Kohlenstoffatom, das durch eine Kugel dargestellt wird, durch den Kohlenstoffkreislauf bewegt. Die SuS repräsentieren hier die Stationen, an denen das Atom eine Zeit lang gelagert wird.

Während die SuS den Ball zwischen ihnen weiterreichen, geben sie an, welche Station sie darstellen, in welcher Form und/oder wo sie das Kohlenstoffatom "halten" und durch welchen Prozess sie es weitergeben. Die SuS können den Ball mehr als einmal erhalten und die Rollen wechseln, während das "Atom" den Zyklus durchläuft und zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Zum Beispiel:

STUDENT 1: Ich bin Phytoplankton und dieser Kohlenstoff befindet sich in Verbindungen in meiner Zelle. Ich werde von einem Fisch aufgefressen. (STUDENT 1 wirft den Ball zu STUDENT 2.)

STUDENT 2: Ich bin ein Fisch. Ich verdaue das Phytoplankton, und der Kohlenstoff wird Teil eines Fettmoleküls in meinem Gewebe. Ich werde von einem Vogel gefressen. (SUS 2 wirft den Ball zu SUS 3.)

STUDENT 3: Ich bin ein Vogel. Ich verdaue den Fisch und verwende die in seinem Fett gespeicherte Energie zur Atmung. Ich gebe das Kohlenstoffatom als Kohlendioxid in die Atmosphäre ab. (SUS 3 wirft den Ball zu SUS 4.)

STUDENT 4: Ich bin die Atmosphäre. Dieses Kohlendioxidmolekül wird von einem Regentropfen absorbiert. (SUS 1 wirft den Ball zu SUS 1.)

STUDENT 1: Ich bin ein Regentropfen, der Kohlensäure enthält.

Der Regentropfen kann in den Ozean fallen und vom Phytoplankton absorbiert werden, wodurch sich der Kreislauf schließt, oder er kann einen weiteren Umweg nehmen.

1. Bitten Sie die SuS, Gruppen von 4-8 Personen zu bilden. Jede Gruppe benötigt einen Ball und sollte sich in einem Kreis aufstellen.
2. Demonstrieren Sie die Idee, indem Sie eine Gruppe dabei unterstützen, anzufangen, während die anderen zusehen.
3. Geben Sie den Gruppen zehn bis zwanzig Minuten Zeit, um eine möglichst lange Kette zu bilden.
4. Bitten Sie jede Gruppe der Reihe nach, ihre längste Kette zu zeigen. Andere Gruppen können sich einfach an der Geschichte erfreuen oder werden gebeten, das Verständnis ihrer Mitschülerinnen und Mitschüler zu bewerten und ein Feedback zu geben.

Ketten können z. B. folgende Abschnitte enthalten:

Kohlenstoff in einem prähistorischen Vogel → dieser ist in einer Höhle gestorben → die Höhle stürzt ein → der Körper wird mit denen vieler anderer komprimiert → das Kohlenstoffatom befindet sich jetzt in Öl → das Öl wird gefördert und in einem Automotor verbrannt → der Kohlenstoff wird als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abgegeben

Kohlenstoff befindet sich in einem Blatt → das Blatt fällt auf den Waldboden → das Blatt wird von einem Pilz zersetzt → der Pilz wird von Termiten gefressen etc.

## Arbeitsblattantworten

1. Die folgenden Definitionen sind nicht vollständig, aber sie verdeutlichen, wie der Begriff in diesem Zusammenhang zu verstehen ist.
  - **Treibhauseffekt:** Sonnenlicht, das die Atmosphäre durchdringt, erwärmt die Erde, CO<sub>2</sub> und andere Gase in der Atmosphäre verhindern, dass diese Wärme in den Weltraum zurückgestrahlt wird.
  - **Photosynthese:** Bildung von Glukose und Sauerstoff durch die Nutzung von Licht, Wasser und Kohlendioxid.
  - **Atmung:** Aufspaltung von Einfachzuckern in CO<sub>2</sub> und Wasser zur Energiegewinnung für Lebewesen.

- **Zersetzung:** der Abbau von organischem Material im Laufe der Zeit. Dies geschieht sowohl durch die Verdauung durch andere Organismen als auch durch chemische Prozesse.
  - **Sedimentgestein:** Gestein, das entsteht, wenn Material wie Sand oder die Überreste von Organismen verdichtet werden.
  - **Metamorphes Gestein:** Sedimentgestein, das durch Druck und/oder Hitze umgewandelt wurde.
  - **Fossile Brennstoffe:** Brennstoffe, die aus den Überresten prähistorischer Organismen unter Einwirkung von Hitze und Druck entstanden sind: Kohle, Öl und Gas.
  - **Industrielle Revolution:** die rasante Entwicklung der auf Dampfkraft basierenden Produktion ab etwa 1750.
2. Individuelle Antworten
  3. S. Abb. 3 auf S. 7
  4. Feuchtgebiete, Viehzucht, Mülldeponien, Waldbrände, Gewinnung fossiler Brennstoffe
  5. Siehe Abbildung 3 auf Seite 7.
  6. Wie viel Kohlenstoff oder CO<sub>2</sub> gibt ein Individuum oder eine Gemeinschaft in die Atmosphäre ab – ungeachtet dessen, was sie sie ausatmen!
  7. Die SuS könnten sich z. B. Gedanken über folgende Aspekte machen: die Bepflanzung oder Wiederbegrünung bestimmter Gebiete, finanzielle Anreize für den Ausbau der Infrastruktur für einen emissionsarmen oder -freien Verkehr, die Verringerung des Verkehrsaufkommens, die Beheizung oder Kühlung öffentlicher Gebäude, die Unterstützung für eine effizientere Beheizung privater Gebäude, die Stromerzeugung und Energieeffizienz, den Umgang mit Abfällen etc..
  8. Individuelle Antworten
  9. Weitere Daten, die zur Bewertung der Durchführbarkeit eines Plans benötigt werden, sind unterschiedlich, können aber folgende sein: Einrichtungskosten und laufende Kosten (Ausrüstung, Land, Zeit); zusätzlicher Nutzen, der die Kosten abmildern kann; wie groß der Unterschied bei den Emissionen ist, den die Veränderung bewirken wird; Akzeptanz in der Gemeinschaft, insbesondere wenn die Menschen ihre Lebensweise ändern müssen; die Anzahl der Menschen, die von dem Plan betroffen sind (sowohl in positiver als auch in negativer Hinsicht); Auswirkungen auf die Beschäftigung etc..
  10. Mögliche Quellen für diese zusätzlichen Daten werden ebenfalls variieren. Die SuS könnten öffentliche Datenbanken in Bezug auf Bevölkerungsdaten und Infrastrukturinformationen; Technologieunternehmen für Einzelheiten zu bestimmten Geräten; wissenschaftlicher Literatur zu den Auswirkungen auf Emissionen; Meinungsumfragen und Erhebungen zur Bewertung der Nachfrage und der wahrscheinlichen Reaktion, vorschlagen etc..

## Aktivität 2: DIE OZEANVERSAUERUNG

Diese praktischen Aktivitäten ermöglichen es den SuS die Auswirkungen der Versauerung der Ozeane zu erkennen, diese mit der chemischen Reaktion in Verbindung zu bringen und zu überlegen, wie sie mit der gleichen einfachen Ausrüstung mehr herausfinden können. Durch die Verwendung von Alltagsmaterialien eignen sich die Aktivitäten sowohl für den Unterricht zu Hause als auch für den Fernunterricht.

### Arbeitsmaterial

- SuS- Arbeitsblatt 2 (3 Seiten)
- 3 Gläser oder Becher pro Gruppe
- 2 Flaschen oder kleinere Gläser pro Gruppe
- Branntweinessig - genug, um das größere Glas oder den Becher zur Hälfte zu füllen und beide Flaschen oder kleinere Gläser zu füllen
- Zitronen- oder Limettensaft - für die halbe Füllung eines Glases
- 4 Eierschalen pro Gruppe
- 2 Luftballons pro Gruppe
- Augenschutz
- Tücher oder Papierhandtücher
- Pinzette oder Zange

### Vorbereitung und Hinweise zum Arbeitsmaterial

Bitte Sie die SuS, im Voraus Eierschalen zu sammeln und diese zu reinigen!

Für den ersten Teil der Aktivität werden Gläser oder Becher benötigt, deren Öffnung groß genug ist, damit ein Ei hindurchpasst.

Das Glas oder die Flasche für den zweiten Teil sollte einen Hals haben, der schmal genug ist, um einen Luftballon darauf zu setzen, aber breit genug, damit der Luftballon fest sitzt. Falls nötig, kann die Abdichtung mit einem Klebeband, einer Schnur oder einem Gummiband verstärkt werden.

**Hinweis:** Dünne PET-Getränkeflaschen können sich ausdehnen und sind daher für diese Aktivität ungeeignet.

Falls Zitronen- oder Limettensaft aus der Flasche verwendet wird (die Sorte, welche man zum Kochen verwendet), kann eine Menge Zeit gespart und Unordnung vermieden werden. Falls frische Früchte verwendet werden, muss man den Saft abseihen, um das Fruchtfleisch zu entfernen.

Muscheln aus dem Bastelgeschäft sind eine realistischere Alternative zu Eierschalen, aber es dauert wahrscheinlich länger, bis sich ein Effekt zeigt. Falls diese verwendet werden, ist darauf zu achten, dass sie aus einer nachhaltigen Quelle stammen.

### Gesundheit und Sicherheit

Es sollte ein Augenschutz getragen werden.

Da bei dieser Aktivität Lebensmittel verwendet werden, sollten die SuS darauf hingewiesen werden, dass sie nichts probieren dürfen.

Material zur Beseitigung von verschüttetem muss bereit gestellt sein.

## Aktivität

1. Erklären Sie, dass wärmere Ozeane mehr CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre aufnehmen können, wodurch sich wiederum ihr Säuregehalt erhöht.  
**Hinweis:** Dies ist zwar derzeit der Fall, aber die Forschung deutet darauf hin, dass eine weitere Erwärmung die Fähigkeit der Ozeane CO<sub>2</sub> zu absorbieren, verringern könnte.
2. Wir werden die Auswirkungen der Ozeanversauerung anhand eines Modells untersuchen:
  - Schalentiere und Korallen werden durch Eierschalen dargestellt, die aus demselben Material bestehen.
  - Kreidestäbchen stellen Klippen oder Küsten dar, die aus Sedimentgestein entstanden sind.
  - Schwache Säuren, die wir in unserer Küche finden können, stellen einen versauerten Ozean dar.
3. Bitten Sie die SuS, ihre Ausrüstung entsprechend der Anweisungen auf dem SuS-Arbeitsblatt 2.1 aufzubauen und ihre ersten Beobachtungen festzuhalten. Sie können einige wichtige Punkte auf dem SuS-Arbeitsblatt 2.2 notieren, Fotos aufnehmen und/oder detailliertere Beschreibungen in ihren Heften aufzeichnen.  
**Hinweis:** Es ist wichtig, dass die Ballons vorgedehnt werden, um das Gummi zu entspannen, da das erzeugte Kohlendioxid nicht so viel Überdruck erzeugt wie die Lungen der SuS.
4. Die Abstände zwischen den Beobachtungen müssen nicht exakt sein, so dass stündliche Beobachtungen auch am Ende der Unterrichtsstunde durchgeführt werden können. In diesem Fall, könnte die freie Zeit für die Diskussion der Fragen 3, 4 und 5 auf dem Arbeitsblatt 2.3 genutzt werden.
5. Nachdem die SuS ihre Ergebnisse gesammelt haben, bitten Sie sie, die Fragen auf dem Arbeitsblatt 2.3 zu beantworten.  
Dies kann zur Beurteilung verwendet oder in der Klasse besprochen werden. Eventuell möchten Sie einige oder alle Fragen als Hausaufgabe aufgeben. Sie können jüngeren oder weniger befähigten SuS bei der Beantwortung der Fragen 4 und 5 unterstützen, indem Sie ihnen zusätzliche Geräte vorschlagen, die sie verwenden können (s. Arbeitsblattantworten, unten).  
Während einer Diskussion im Plenum wäre es sinnvoll, über die positive Rückkopplungsschleife zu sprechen, die durch diesen Prozess entsteht.
6. Sie könnten die SuS auch bitten, die Auswirkungen der Versauerung der Ozeane auf das Meeresleben näher zu erforschen.

## Ergebnisse der Stichprobe

In Essig und Zitronensaft bilden sich beinahe unverzüglich Blasen um die Eierschalen. Um die Eierschalen in Wasser können sich einige Blasen bilden, die aber wahrscheinlich von eingeschlossener Luft herrühren und sich im Laufe der nächsten Stunde oder Tage auflösen (siehe Abbildung 5 auf der nächsten Seite).

Die meiste Tafelkreide besteht aus Gips und enthält nur geringe Mengen an Kalziumkarbonat. Die Blasen, die sich von der Kreide lösen, sind wahrscheinlich kleiner (s. Abb. 6 auf der nächsten Seite), obwohl, zumindest zu Beginn, mehr von ihnen vorhanden sind.

Nach einer Stunde können die Eierschalen in den Säuren beginnen, weich zu werden oder Korrosionen zu zeigen. Dies geschieht insbesondere an den Rändern, die glatter geworden sein könnten. Die Reaktion mit den Kreiden kann vollständig zum Stillstand gekommen sein, sobald das gesamte zugängliche Kalziumkarbonat reagiert hat.



Abbildung 5: Eierschalen in Essig, Zitronensaft und Wasser nach etwa einer Stunde  
(Quelle: ESA CCI)

Die Schale im Essig wird sich nach zwei oder drei Tagen vollständig aufgelöst haben, und die Schale im Zitronensaft ist auf dem besten Weg dorthin (siehe Abbildung 7).



Abbildung 6: Kleinere Bläschen aus Kreide in Essig, im Vergleich zu denen aus Eierschalen in Abbildung 5. (Quelle: ESA CCI)



Abbildung 7: Eierschalen nach einem Tag im Essig (links) und Zitronensaft (rechts)  
(Quelle: ESA CCI)

Der Ballon auf dem Glas mit den Kreiden wird sich wahrscheinlich nicht stark ausdehnen. Wohingegen der Ballon auf dem Glas mit den Eierschalen wahrscheinlich eine beträchtliche Menge Gas anreichern wird. Während der ersten Stunde oder einem längerem Zeitraum wird Unterschied aber noch nicht sichtbar sein (s. Abb. 8).

Da sich die Reaktion zwischen Essig und Eierschale verlangsamt, kann das Volumen des Ballons konstant bleiben oder sogar abnehmen, wenn das Gas schneller durch den Ballon diffundiert (eindringt) als zusätzliches Gas entsteht.



Abbildung 8: Ballons für Teil 2 der Aktivität nach mehreren Stunden: Eierschale und Essig (links), Kreide und Essig (rechts)  
(Quelle: ESA CCI)

## Arbeitsblattantworten

1. Führt es durch Kalkwasser, das trüb wird, wenn es sich um CO<sub>2</sub> handelt.
2. a. Die Schalen von Weichtieren bleichen aus und werden dünner, wodurch sie anfälliger werden.  
Die Skelette der Korallen, der Teil, den wir als Koralle bezeichnen, werden sich auflösen.
- b. Die chemische Verwitterung des Gesteins wird beschleunigt.
- c. Dies wird zunehmen.
3.  $\text{CaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
4. a. Die einfachste Methode besteht darin, mit einem Stück Schnur den Umfang des Ballons zu messen.  
Wenn man annimmt, dass er einen kreisförmigen Querschnitt hat, kann man den Radius berechnen, und wenn man annimmt, dass er eine Kugel ist, kann man aus dem Radius das Volumen berechnen.  
Je nach verwendetem Ballon können die SuS den Ballon auch als Zylinder oder als eine Kombination aus Kugel und Zylinder ansehen und entsprechende Messungen vorschlagen.
- b. Dies ist von der Form des Ballons und den getroffenen Annahmen abhängig (s. o.).  
Ein Beispiel: bei den in Abb. 8 gezeigten Ballons ist der horizontale Querschnitt eher elliptisch als kreisförmig, so dass der Radius wahrscheinlich kleiner ist als der, der anhand des Umfangs berechnet wurde, was zu einer Überschätzung führt.  
Der aufgeblähte Bereich würde jedoch über und unter der auszufüllenden Kugel herausragen, so dass das tatsächliche Volumen größer sein kann als das, welches berechnet wurde.  
Es besteht die Möglichkeit, dass sich die beiden Fehler aufheben.
5. Punkte, die in den Antworten der SuS enthalten sein könnten:
  - Verwendet Essig oder Säure in verschiedenen Verdünnungen.
  - Messt die Zeit, in der ein bestimmtes CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, oder die Zeit, in der der Ballon einen bestimmten Umfang erreicht (letzteres ist riskanter, da es möglich ist, die Schlüsselzeit zu verpassen).
  - Messt den Umfang des Ballons in bestimmten Abständen und vergleicht ihn oder zeichnet ihn auf.
  - Verwendet eine Linie, die um den Ballon herum markiert ist, um sicherzustellen, dass der Umfang immer an der gleichen Stelle gemessen wird.
  - Messt jedes Mal das Volumen der Säure und die Masse der verwendeten Eierschalen.
  - Mathematisch befähigtere SuS können vorschlagen, die Rate durch Division des Volumens durch die Zeit zu berechnen oder die Steigung eines Graphen zu verwenden. Sie wissen unter Umständen auch, dass sie, selbst wenn sie kein Volumen berechnen, den Kubus jeder linearen Messung verwenden sollten, um sicherzustellen, dass sie etwas betrachten, das proportional zum Volumen ist.

- Wer sich der Faktoren bewusst ist, welche die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflussen, wird feststellen, dass die Temperatur konstant sein muss und der Feststoff jedes Mal in ähnlich großen Stücken vorliegen muss.

**Hinweis:** Da es sich bei Essig um eine verdünnte Lösung einer schwachen Säure handelt, sind die entstehenden Mengen an Kohlendioxid selbst in der Theorie zu gering, um eine Untersuchung wie diese praktisch durchführen zu können. Die SuS könnten jedoch die von ihnen entwickelte Methode als Grundlage für Laborarbeiten mit Salzsäure und Marmorsplintern verwenden.

## Aktivität 3: BEOBACHTUNG VON KOHLENSTOFF AUS DEM WELTRAUM

Bei dieser Aktivität verwenden die SuS die Webanwendung *Climate from Space*, um eine Frage zu einem Teil des Kohlenstoffkreislaufs zu untersuchen und um eine Präsentation vorzubereiten, bei der sie den anderen SuS ihre Ergebnisse erläutern. Diese kann von Einzelpersonen, in Partnerarbeit oder kleinen Gruppen durchgeführt werden. Wenn die SuS zusammenarbeiten und/oder mit der Webanwendung nicht vertraut sind, wäre es sinnvoll, zumindest den ersten Teil der Übung in der Klasse durchzuführen, obwohl sich die Aktivität auch zum eigenständigen Lernen eignet.

### Arbeitsmaterial

- Internetzugang
- Webanwendung *Climate from Space*
- SuS-Arbeitsblatt 3 (2 Seiten, zweite Seite optional)
- Präsentationssoftware wie PowerPoint

### Aktivität

1. Geben Sie den SuS genügend Zeit, um sich mit der Webanwendung *Climate from Space* vertraut zu machen, oder demonstrieren Sie ihre Verwendung, während Ihre SuS die Anweisungen im Kasten oben auf dem SuS-Arbeitsblatt 3.1 befolgen.  
Die Basiskarte (dunkelgraue Ozeane und hellgraues Land) ist an Stellen durchgestrichen, an denen es nicht möglich war, den Kohlendioxidgehalt in der Luft zuverlässig zu bestimmen. Die Ursache dafür kann sein, dass der Satellitensensor aufgrund der Bewölkung nicht in der Lage war genügend Daten zu sammeln, um eine sichere Messung durchzuführen.  
Falls die SuS andere Variablen untersuchen, stellen sie unter Umständen fest, dass die Pixel für verschiedene Mengen unterschiedlich groß sind. Dafür gibt es unterschiedliche Gründe, z. B., dass für die Berechnung einiger Variablen mehr Rohdaten benötigt werden als für andere und, dass verschiedene Instrumente über unterschiedliche Auflösungen verfügen. Weitere Informationen hierzu findet man in den "*Taking the Pulse of the Planet*"-Paketen, die unter <https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/> abrufbar sind.
2. Bitten Sie die SuS, eine der vorgeschlagenen Fragen zu recherchieren und eine kurze Präsentation, wie auf dem SuS-Arbeitsblatt 3.1 beschrieben, zu erstellen. Gegebenenfalls beabsichtigen Sie die Fragen bestimmten SuS oder Gruppen zuzuweisen. Die Aufgabe ist offen und erlaubt eine ergebnisabhängige Differenzierung, wobei bedingt durch die Vorkenntnisse der Klasse vorhergehende Fragen leichter sein können als folgende. Das SuS-Arbeitsblatt 3.2 bietet Unterstützung, indem es Bereiche vorschlägt, auf die man sich konzentrieren sollte (die SuS müssen dafür eventuell eine Kartierungsanwendung nutzen, um diese Bereiche zu lokalisieren), und es enthält in einigen Fällen mehrere detailliertere Fragen.
3. Falls die SuS ihre Ergebnisse gegenseitig präsentieren sollen, sollten Sie die Liste der Anweisungen für die Präsentation um eine zeitliche Vorgabe erweitern

und/oder geeignete Kriterien für die Beurteilung durch die anderen Teilnehmerinnen und Teilnehmer besprechen.

## Arbeitsblattantworten

Der Schwerpunkt dieser Aufgabe liegt darin, dass die SuS ihre Antworten mit Belegen untermauern, anstatt ausschließlich wenige Details in diesem Kontext darzulegen.

Doch nun erstmal, der Reihe nach:

- Die jahreszeitlichen Schwankungen der CO<sub>2</sub> Werte werden auf Informationsblatt 1 erörtert, und der langfristige Trend steigender Werte zeigt sich deutlich in der Veränderung der vorherrschenden Farbe für die Daten.
- Reisanbaugebiete oder brandgefährdete Gebiete weisen deutliche saisonale Schwankungen der Methanwerte auf. Auch bei diesen Daten ist ein deutlicher jährlicher Anstieg zu verzeichnen.
- Die von Permafrost bedeckte Fläche nimmt ab. Dies wird in den Daten durch blassere Farben sowie durch die Ausdehnung dargestellt. Dies korreliert mit dem Anstieg der Treibhausgase. Fordern Sie die SuS auf, darüber nachzudenken, ob diese Korrelation einen kausalen Zusammenhang aufweist und falls dies so ist, in welche Richtung.
- Im Allgemeinen ist eine größere Fläche verbrannter Flächen mit einem höheren Kohlenstoffgehalt in der Atmosphäre und einer geringeren Biomasse verbunden und wird oft mit einer Veränderung der Bodenbedeckung von Wald zu Landwirtschaft in Verbindung gebracht. Je nachdem, welche Gebiete sie untersuchen, können die SuS dies nachweisen oder nicht.

	Dez-Feb	März-Mai	Jun-Aug	Sept-Nov
Kolumbien	<i>hoch</i>	<i>mittel</i>	<i>niedrig</i>	<i>niedrig</i>
Brasilien	<i>niedrig</i>	<i>niedrig</i>	<i>hoch</i>	<i>mittel</i>
Kamerun	<i>hoch</i>	<i>mittel</i>	<i>niedrig</i>	<i>niedrig</i>
Sambia	<i>niedrig</i>	<i>niedrig</i>	<i>hoch</i>	<i>mittel</i>
Nordaustralien	<i>niedrig</i>	<i>hoch</i>	<i>hoch</i>	<i>mittel</i>

- Der Auftrieb von kühlerem Wasser kann das Nährstoffangebot erhöhen und so zu einem verstärkten Wachstum des Planktons führen, was die SuS vielleicht nicht erwartet hätten.

Die Aktivität könnte zur Bewertung der Recherchefähigkeiten und die Präsentation zur Bewertung der Kommunikationsfähigkeiten anhand lokaler Kriterien verwendet werden.

## Arbeitsblatt 1: DER KOHLENSTOFFKREISLAUF

1. Das Informationsblatt 1 kann überfliegend gelesen werden.  
Falls ihr euch nicht sicher seid, was die **fettgedruckten** Wörter oder Sätze bedeuten, informiert euch, bevor ihr zum nächsten Schritt übergeht.

Ihr werdet ein Diagramm zeichnen, das den gesamten Kohlenstoffkreislauf darstellt. Euer Diagramm soll Quellen und Senken von Kohlenstoff zeigen. Kennzeichnet die Prozesse, die den Kohlenstoff durch den schnellen und langsamen Kreislauf bewegen.

2. Lest das Informationsblatt genauer durch und sucht dabei nach Details, die ihr in euer Diagramm aufnehmen müsst.  
Ihr könnt beim Lesen wichtige Punkte hervorheben oder eine grobe Skizze anfertigen.
3. Erstellt Euer Diagramm.  
Dabei könnt ihr verschiedene Farben oder Schriftarten verwenden, um den Unterschied zwischen Quellen und Senken und/oder Prozesse, die Teil des langsamen und des schnellen Zyklus sind, darzustellen.

Auf dem Informationsblatt steht, dass es sich bei *Methan* ( $\text{CH}_4$ ) um ein weiteres wichtiges Treibhausgas handelt. Wie man an seiner chemischen Formel erkennen kann, enthält Methan auch Kohlenstoff.

Der Boden nimmt eine kleine Menge Methan aus der Atmosphäre auf, aber der größte Teil bleibt in der Luft, bis es durch eine chemische Reaktion in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt wird.

4. Recherchiert nach Methanquellen.
5. Fügt die Informationen über Methan zu Eurem Diagramm hinzu.

Das Informationsblatt enthält einige Maßnahmen, die jeder Einzelne ergreifen kann, um seinen "ökologischen Fußabdruck" zu verringern.

6. Verwendet die Informationen, die ihr auf dem Blatt gelernt habt, um eure eigene Definition dieses Begriffs zu verfassen.  
Achtet dabei darauf, die Definition auf zwanzig Wörter zu begrenzen.
7. Wählt eine Maßnahme, welche den Kohlenstofffußabdruck eurer gesamten Gemeinde, Stadt, Region oder sogar Eures Landes verringern würde.  
Verwendet euer Diagramm des Kohlenstoffkreislaufs, um herauszufinden, warum dies eine Auswirkung haben wird.  
Überlegt, welche Quellen, Senken und Prozesse beteiligt sind.

Stellt euch vor, dass ihr die Möglichkeit hättet, mit einer Gruppe von Entscheidungsträgern zu sprechen, die in der Lage wären diese Maßnahmen umzusetzen.

8. Stellt die Punkte, die ihr gerne vorbringen möchtet, in einer Liste von Aufzählungspunkten zusammen.

Überlegt, welche Fragen die Entscheidungsträger stellen oder welche Einwände sie erheben könnten.

9. Welche zusätzlichen Informationen würdet ihr benötigen, um ihre Fragen zu beantworten oder um auf ihre Bedenken einzugehen?
10. Wie könntet ihr diese Informationen finden?

Falls ihr der Meinung seid, dass eine dieser Informationen zu euren Stichpunkten hinzugefügt werden sollte, schreibt eure Liste um, um zu zeigen, wo ihr sie einfügen möchtet.

## Arbeitsblatt 2: Die Ozeanversauerung

### Arbeitsmaterial

- 3 Gläser oder Becher
- 2 Flaschen oder kleinere Gläser
- Essig
- Zitronen- oder Limettensaft
- 4 saubere Eierschalen
- 2 Stangen Kreide
- 2 Luftballons

### Gesundheit und Sicherheit

- Arbeitet vorsichtig, um Verschüttungen und Spritzer zu vermeiden.
- Tragt einen Augenschutz.
- Falls etwas ins Auge gelangen sollte, muss es sofort mit reichlich kaltem u. klarem Wasser ausgespült werden.
- Probiert nichts und berührt euer Gesicht nicht.

### Aktivität: Teil 1

1. Füllt ein Glas oder Becherglas bis zur Hälfte mit destilliertem Essig, ein weiteres mit Zitronensaft und das dritte Glas mit Wasser.
2. Legt in jedes Glas zwei halbe Eierschalen.
3. Beobachtet, was in den einzelnen Gläsern passiert.  
Ihr könntet einige Stichwörter in die Tabelle auf dem Arbeitsblatt 2.2 eintragen und eure Beobachtungen mit Fotos belegen.
4. Nach mindestens einer Stunde nehmt ihr vorsichtig ein Stück Eierschale aus jedem Gefäß. Wie sehen die Schalen aus und wie fühlen sie sich an?
5. Legt die Eierschalen wieder in das richtige Gefäß.
6. Wiederholt eure Beobachtungen täglich, bis ihr keine Veränderung mehr feststellt. Falls ihr die Tabelle auf dem SuS-Arbeitsblatt 2.2 verwendet, ist es unter Umständen nötig zusätzliche Zeilen hinzuzufügen.



(Quelle: ESA CCI)

### Aktivität: Teil 2

Richtet diese zur gleichen Zeit wie Teil 1 ein. Verteilt die Aufgaben in eurer Gruppe, damit ihr schnell zwischen den Schritten 3 und 4 wechseln könnt.

1. Blast den Luftballon mehrmals auf und wieder ab, bis er sich leicht aufbläht.
2. Füllt die Flaschen oder kleineren Gläser fast bis zum Rand mit Essig.
3. Legt in ein Glas eine Eierschale in den Essig und in das andere Glas zwei Kreidestäbchen. Zerschneidet die Kreidestäbchen, falls sie zu groß sein sollten, in etwa gleich große Stücke und legt alle Stücke gleichzeitig in den Essig.



(Quelle: ESA CCI)

4. Befestigt den Luftballon am Hals einer jeden Flasche. Möglicherweise müsst ihr dafür ein Klebeband, eine Schnur oder ein Gummiband verwenden, um den Flaschenhals gut abzudichten.
5. Notiert, was mit den Ballons nach etwa einer Stunde und dann in täglichen Abständen passiert. Auch hier könnt ihr Fotos aufnehmen, um eure Beobachtungen zu belegen.

Ergebnisse

	Offener Behälter, Eierschale			Ballonverschluss, Essig	
	Wasser	Zitronensaft	Essig	Eierschale	Kreiden
Erste Beobachtungen					
Nach einer Stunde					
Nach einem Tag					
Nach zwei Tagen					

## Die Untersuchung eurer Ergebnisse

1. Wie könnt ihr nachweisen, dass es sich bei dem Gas, das bei dieser Reaktion entsteht, um Kohlendioxid handelt?

---



---

2. Was wird Euren Ergebnissen zufolge geschehen, wenn die Versauerung der Ozeane zunimmt? Mit:

- a. Mollusken des Meeres und Korallenriffen?

---



---

- b. Küstenlinien, die aus Kalkstein und ähnlichen Gesteinen bestehen?

---



---

- c. der Geschwindigkeit, mit der Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangt?

---



---

Die Säure im Essig nennt sich Ethansäure (Essigsäure),  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , und die Verbindung in den Schalen, die mit der die Säure reagiert, nennt sich Calciumcarbonat. Bei der Reaktion entstehen Calciumethanoat (Acetat), Wasser und Kohlendioxid.

3. Vervollständige die Reaktionsgleichung, indem du:

- a. die Formeln für Calciumcarbonat, Kohlendioxid und Wasser in die Kästchen einträgst.  
b. gegebenenfalls Zahlen einträgst, um die Gleichung auszugleichen.



4. Überlege dir, wie du mit Hilfe des Ballons die Menge des von der Eierschale abgegebenen Kohlendioxids schätzen könntest.

- a. Erläutere, was und wie du misst und welche Berechnungen du durchführen würdest.

---



---



---

b. Welche Annahmen hast du bei dieser Berechnung getroffen?  
Gebe für jede Hypothese an, ob dein Ergebnis wahrscheinlich zu groß oder zu klein ausfallen wird.

---

---

5. Wie könnte man die Ideen aus dieser Aktivität nutzen, um zu untersuchen, wie die Geschwindigkeit, mit der Kohlendioxid abgegeben wird, mit der Konzentration der Säure variiert?

Bespreche deine Ideen mit einer Partnerin oder einem Partner oder mit deiner Gruppe.

Wenn ihr einen Plan habt, schreibt eine Liste mit den benötigten Geräten und Chemikalien sowie eine Schritt-für-Schritt-Anleitung, die zeigt, wie ihr sicherstellt, dass ihr einen einwandfreien Test durchführt.

## Arbeitsblatt 3: BEOBACHTUNG VON KOHLENSTOFF AUS DEM WELTRAUM

Öffnet die Webanwendung *Climate from Space* ([cfs.climate.esa.int](https://cfs.climate.esa.int)).

Klickt auf das Symbol Datenebenen (oben rechts) und wählt Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>).

Spielt die Animation mehrmals durch, um zu überprüfen, ob ihr versteht, wie die Steuerelemente auf dem Bildschirm euch helfen, bestimmte Orte oder Zeiten genauer zu betrachten.

Klickt erneut auf das Symbol Datenebenen, scrollt nach unten zu Methan und klickt diesmal auf VERGLEICHEN.

Vergewissert euch, dass ihr wisst, wie ihr mit den Steuerelementen unten rechts auf dem Bildschirm zwischen der Karten- und der Globusansicht wechseln könnt und wie ihr das, was auf dem Bildschirm angezeigt wird, herunterladen könnt.

1. Nachdem ihr wisst, wie ihr die Webanwendung *Climate from Space* nutzen könnt, verwendet ihr sie, um eine oder mehrere der unten aufgeführten Fragen zum Kohlenstoffkreislauf zu untersuchen. Ihr könnt auch eine andere Frage zum Kohlenstoffkreislauf untersuchen, wenn eure Lehrkraft zustimmt.
2. Nutzt euer Wissen, welches ihr bereits zu diesem Thema erlangt habt, und nutzt auch Informationen anderer Online-Ressourcen, um die Muster, Trends und Beziehungen zu erklären, die ihr aus den Daten der Webanwendung *Climate from Space* ablesen könnt.
3. Erstellt eine kurze Präsentation von höchstens vier Folien, in der zusammenfasst wird, was und wie ihr es herausgefunden habt.  
Eure Folien:
  - sollten mindestens drei relevante Bilder aus *Climate from Space* enthalten, um eure Antwort auf die Frage zu belegen.
  - sollten nicht mehr als vier Bilder auf jeder Folie enthalten.
  - sollten höchstens 100 Wörter auf jeder Folie enthalten. Dies gilt auch für Beschriftungen von Diagrammen.
  - Fragen
    1. Welche Muster und Trends lassen sich bei Kohlendioxid-Messungen erkennen?
    2. Welche Muster und Trends lassen sich bei den Methanmessungen erkennen?
    3. Welcher Zusammenhang besteht, falls es einen gibt, zwischen der Permafrostkonzentration und dem Kohlendioxid- und/oder dem Methangehalt?
    4. Wie hängt der Kohlendioxid- und Methangehalt in der Atmosphäre mit Bränden zusammen?
    5. Welche Auswirkungen haben Brände über kurze und lange Zeiträume auf die Bodenbedeckung?
    6. Welche Auswirkungen haben Brände über kurze und lange Zeiträume auf die Biomasse?
    7. Wie reagiert das Phytoplankton auf Veränderungen der Meeresoberflächentemperatur?

## Einige Vorschläge um zu beginnen

### Fragen 1 und 2

Vergleiche zwei Orte: einen in jeder Hemisphäre (z. B. Paris und Johannesburg).

Achte auf saisonale Zyklen, indem du langsam Jahr für Jahr betrachtest.

Wann erreicht die Konzentration der einzelnen Gase an den einzelnen Orten ihren Höhepunkt?

Welcher Trend ist über den von den Daten abgedeckten Zeitraum erkennbar?

Wenn du Frage 2 untersuchst, kannst du dir auch ansehen, was du in Aktivität 1 über die Quellen von Methan herausgefunden hast.

### Frage 3

Permafrost ist ein Boden, der während des gesamten Jahres gefroren ist.

Du kannst dich auf ein Gebiet wie die Jamal-Halbinsel konzentrieren, auf welcher sich in den letzten Jahren riesige Löcher im zuvor gefrorenen Boden aufgetan haben.

Achte auf saisonale Zyklen.

### Fragen 4-6

Du kannst damit beginnen, eine Tabelle wie diese auszufüllen, um das Ausmaß der Feueraktivität an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten des Jahres darzustellen.

	Dez.-Feb.	März-Mai	Jun.-Aug.	Sept.-Nov.
Kolumbien	<i>hoch</i>			
Brasilien				
Kamerun				
Sambia				
Nordaustralien				<i>mittel</i>

Du könntest eine ähnliche Tabelle verwenden, um eine andere Variable zu untersuchen, an der du interessiert bist, und dann die beiden Tabellen vergleichen.

### Frage 7

Der Farbdatensatz des Ozeans zeigt die Chlorophyllkonzentration an und vermittelt so einen Eindruck von der Menge des Phytoplanktons.

Die Pazifikküste Amerikas ist ein guter Ausgangspunkt: Schau Dir Orte auf beiden Seiten des Äquators an.

Treten die Auswirkungen sofort ein oder gibt es eine zeitliche Verzögerung?

## Informationsblatt 1: Der Kohlenstoffkreislauf

In den letzten Jahren haben die Nachrichtenorganisationen immer häufiger über rekordverdächtige Temperaturen berichtet. Heißere Sommer und wärmere Winter sind in vielen Ländern Europas an der Tagesordnung, und das britische *Met Office* teilte der BBC mit, dass die meisten Menschen in England im Jahr 2040 im Winter keinen Schnee mehr sehen werden.

Wir wissen bereits, dass menschliche Aktivitäten zur globalen Erwärmung beitragen, indem sie die Menge an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre erhöhen und dadurch den **Treibhauseffekt verstärken**. Wissenschaftler warnen davor, dass es viele negative Folgen für die Menschen, die Wirtschaft und die Natur geben wird, wenn dies so weitergeht. Viele Menschen haben aus diesem Grund damit begonnen, ihren "CO<sub>2</sub>-Fußabdruck" zu verringern. Sie vermeiden unter Umständen das Fliegen, nutzen seltener ihr Auto, denken über die Auswirkungen der Lebensmittel nach, die sie konsumieren, oder vermeiden Produkte, für deren Herstellung Regenwälder abgeholzt werden.

Aber was hat all das mit dem CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zu tun?

Die Bewegung von Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> und anderen Verbindungen zwischen Atmosphäre, Land und Wasser steht in einem empfindlichen Gleichgewicht. Der Kohlenstoffkreislauf beschreibt, wie er sich zwischen Senken, (Orte die Kohlenstoff binden und seine Freisetzung in die Atmosphäre verhindern oder verzögern) und Quellen, die kohlenstoffhaltige Gase erzeugen oder an die Luft abgeben, bewegt.

### Der schnelle Kohlenstoffkreislauf CO<sub>2</sub>

Pflanzen nehmen bei der **Photosynthese** CO<sub>2</sub> aus der Luft auf und speichern es in ihrem Gewebe während sie wachsen. Einen Teil davon geben sie durch **Atmung** und beim Absterben wieder an die Luft ab. Laubbäume nehmen jedes Frühjahr beim Treiben neuer Blätter viel mehr CO<sub>2</sub> auf. Aber im Herbst endet die Photosynthese, und durch die **Zersetzung** der abgefallenen Blätter wird CO<sub>2</sub> an die Atmosphäre zurückgegeben. Natürlich herrscht auf der Nordhalbkugel Frühling während auf der Südhalbkugel Herbst herrscht, so dass sich diese jahreszeitlichen Veränderungen ausgleichen, wenn die Erde als Ganzes betrachtet wird? Leider ist dies nicht der Fall, denn auf der Nordhalbkugel gibt es nicht nur mehr Land, sondern große Teile davon, wie vor allem Sibirien und Kanada,



Teile des Regenwaldes auf Borneo werden für den Anbau von Ölpalmen gerodet, wodurch der Baumbestand verringert und der gespeicherte Kohlenstoff freigesetzt wird. Palmöl wird u.a in Produkten von Seife u. Keksen verwendet. (Quelle: enthält modifizierte Copernicus-Sentinel-Daten (2019), verarbeitet von der ESA).

sind zudem mit Wald bedeckt. Infolgedessen erreicht der globale CO<sub>2</sub>-Gehalt im Mai seinen Höhepunkt.

Selbstverständlich können Pflanzen auch von Tieren gefressen werden. In diesem Fall wird der in den Pflanzengeweben gespeicherte Kohlenstoff freigesetzt, wenn das Tier atmet oder wenn es seinerseits stirbt und sein Körper verwest.

Es kann etwas mehr Zeit verstreichen, bis das CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre gelangt. Aber der gesamte Prozess erstreckt sich über Monate oder Jahre und wird gewöhnlich als schneller Kohlenstoffkreislauf bezeichnet.

## Der langsame Kohlenstoffkreislauf

Im Gegensatz dazu kann ein Kohlenstoffatom Hunderttausende oder sogar Millionen Jahre brauchen, um den langsamen Kohlenstoffkreislauf zu durchlaufen.

Die Meeresoberfläche nimmt CO<sub>2</sub> auf, und obwohl ein Teil davon schnell wieder in die Atmosphäre abgegeben wird, gelangt ein anderer Teil in tiefe Gewässer, wo er über Jahrhunderte gelöst bleibt. Kohlenstoff gelangt auch über den Wasserkreislauf in den Ozean: Regenwasser nimmt CO<sub>2</sub> auf, wodurch es leicht sauer wird. Diese schwache Säure reagiert mit Gestein und Böden, zersetzt sie und bildet neue Verbindungen, die schließlich ins Meer gespült werden können.

Ozeanische Organismen, einschließlich Phytoplankton und Korallen, nehmen während ihres Wachstums Kohlenstoff auf. Wenn sie sterben, fallen ihre Körper auf den Meeresboden, und der Kohlenstoff in ihren Schalen oder Skeletten wird in **Sedimentgestein**, dem größten Kohlenstoffspeicher der Erde, gespeichert. Dieser Kohlenstoff wird erst dann wieder in die Atmosphäre abgegeben, wenn das Material des Meeresbodens den Gesteinskreislauf durchläuft: Einige der Prozesse, die zur Entstehung von **metamorphem Gestein**, zur Ausbreitung des Meeresbodens und zu Vulkanen führen, setzen CO<sub>2</sub> frei.

Kohlenstoff wird dem schnellen Kreislauf entzogen und Teil des langsamen Kreislaufs, wenn die Überreste von Pflanzen und Tieren nicht vollständig zersetzt werden können und sich stattdessen anreichern, um sich mit der Zeit in Torf, Schiefer und **fossile Brennstoffe** zu verwandeln.

Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe wird CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre freigesetzt, wodurch ein Teil des langsamen Kohlenstoffkreislaufs umgangen wird. Durch die Abholzung der Wälder verringert sich die Fähigkeit der Erde, Kohlenstoff aufzunehmen und zu speichern. Wird das Pflanzenmaterial verbrannt oder dem Verfall überlassen, gelangt der gespeicherte Kohlenstoff schneller wieder in den schnellen Kreislauf, als es sonst der Fall wäre. Obwohl ein Teil des überschüssigen CO<sub>2</sub> vom Land und den Ozeanen absorbiert wurde, hat sich der Rest in der Atmosphäre angesammelt, was dort in den letzten 150 Jahren zu einem Anstieg von 30% des CO<sub>2</sub> geführt hat.

## Gleichgewicht schaffen

Die im ersten Absatz genannten Einzelmaßnahmen können dazu beitragen, die Geschwindigkeit zu verringern, mit der wir der Atmosphäre Kohlenstoff hinzufügen. Viele Gemeinden streben durch Reduktionsmaßnahmen ein **Netto-Null-Ziel an**, d. h. sie wollen sicherstellen, dass sie der Atmosphäre nicht mehr Kohlenstoff zuführen als sie ihr entziehen. Das Gas verbleibt jedoch lange in der Atmosphäre, so dass zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind, um wieder das Niveau vor der **industriellen Revolution** zu erreichen.

Die von Satelliten gesammelten Daten ermöglichen es uns, den Kohlenstoffkreislauf rund um den Globus zu verfolgen. Satellitensensoren messen die CO<sub>2</sub> Konzentration und *Methan* (CH<sub>4</sub>), ein weiteres wichtiges Treibhausgas, in der Atmosphäre. Die Überwachung der Bodenbedeckung und die Schätzung der Biomasse aus dem

Weltraum ermöglichen es uns, die Menge an Kohlenstoff zu bestimmen, die in der Vegetation an Land gespeichert ist und die Untersuchung der Farbe des Ozeans kann einen Eindruck davon vermitteln, wie viel Kohlenstoff vom Phytoplankton aufgenommen wird.

Klimawissenschaftler nutzen diese Informationen, um numerische Modelle zu erstellen, die erklären, wie sich das Klima in der Vergangenheit verändert hat, und mit deren Hilfe Vorhersagen für die Zukunft getroffen werden können. Entscheidungsträger können diese Modelle dann nutzen, um herauszufinden, wie wir unsere Aktivitäten als Gesellschaft steuern können, um das Gleichgewicht im Kohlenstoffkreislauf wiederherzustellen.

## Links

### ESA Quellen

Webanwendung *Climate from Space*

<https://cfs.climate.esa.int>

Klima für Schulen

<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>

Lehren durch Weltraum

[http://www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/Teach\\_with\\_space3](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3)

Animation des Kohlenstoffkreislaufs

[http://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2018/02/Carbon\\_Cycle](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2018/02/Carbon_Cycle)

Kohlenstoff und die Ozeane, Animation

[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2017/12/Carbon\\_dioxide\\_ocean\\_atmosphere\\_exchange/\(lang\)](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2017/12/Carbon_dioxide_ocean_atmosphere_exchange/(lang))

### ESA-Weltraumprojekte

ESA-Klimabehörde

<https://climate.esa.int/>

Raum für unser Klima

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate)

Die Erdbeobachtungsmissionen der ESA

[www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/ESA\\_for\\_Earth](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth)

Erforscher der Erde

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/The\\_Living\\_Planet\\_Programme/Earth\\_Explorers](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers)

Kopernikus Sentinels - Wächter

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview4](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4)

### Andere Quellen

Video: *Space for Climate*

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate)

Klima und Permafrost

<https://climate.esa.int/projects/permafrost/news/picturing-permafrost-arctic/>

Weitere Videos zu *Earth from Space*

[http://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Sets/Earth\\_from\\_Space\\_programme](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme)

ESA-Kinder

[https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate\\_change/Climate\\_change](https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate_change/Climate_change)