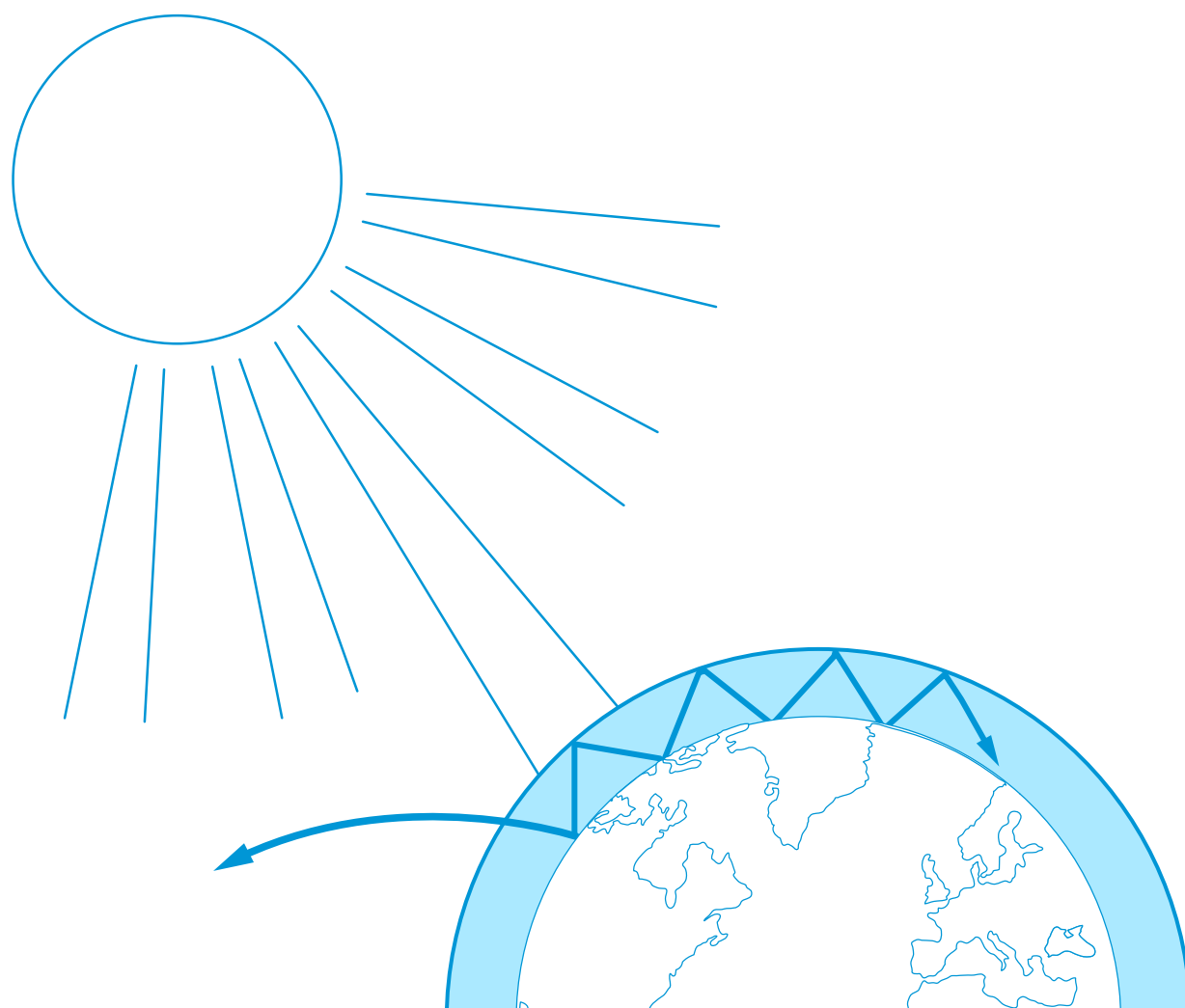
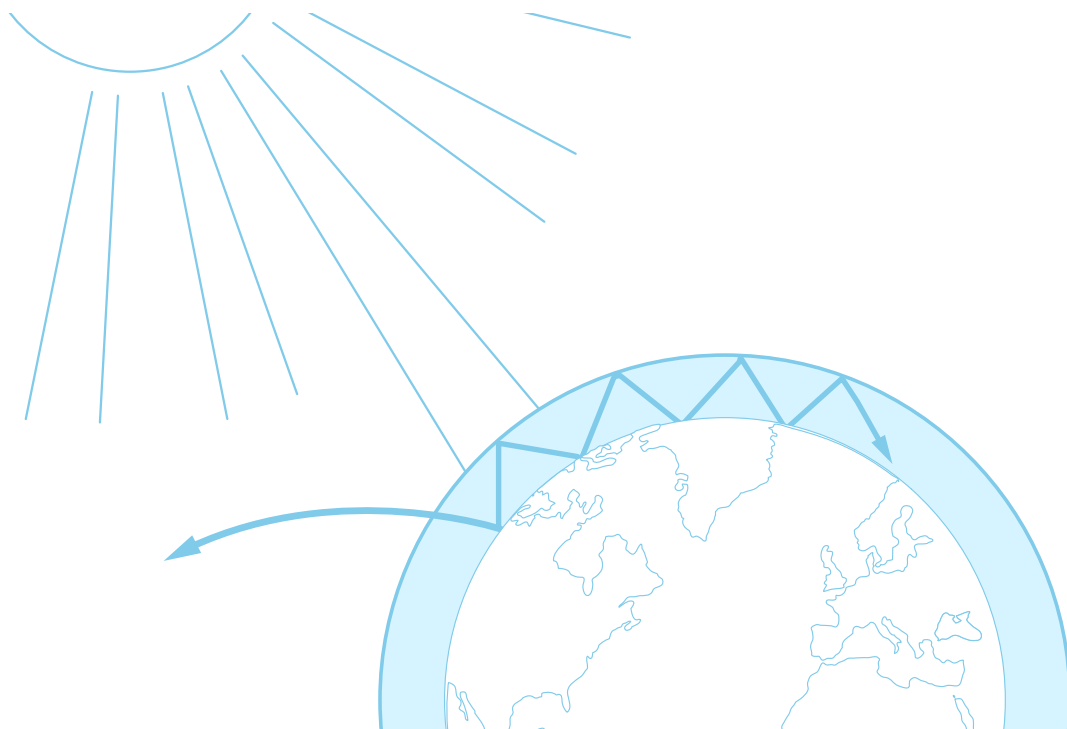


teach with space

→ DER TREIBHAUSEFFEKT UND SEINE FOLGEN

Erforschung der globalen Erwärmung





Eckdaten, Kurzbeschreibung, Lernziele	Seite 3
Übersicht	Seite 4
Einführung	Seite 5
Hintergrund	Seite 6
Aktivität 1: Der Treibhauseffekt – was ist das?	Seite 7
Aktivität 2: Der Meeresspiegel als Indikator für die globale Erwärmung	Seite 9
Aktivität 3: Wie Veränderungen der Albedo das Klima beeinflussen können	Seite 12
Links	Seite 14

teach with space – Der Treibhauseffekt und seine Folgen | G03
www.esa.int/education

Das ESA Education Office freut sich über Feedback und Kommentare
teachers@esa.int

Eine Produktion der ESA Education in Zusammenarbeit mit ESERO Dänemark
Copyright 2018 © European Space Agency

→ DER TREIBHAUSEFFEKT UND SEINE FOLGEN

Erforschung der globalen Erwärmung

Eckdaten

Thema: Geographie, Physik, Naturwissenschaften
Altersbereich: 12-15 Jahre
Typ: Schüler*innenaktivität
Komplexität: leicht
Erforderliche Unterrichtszeit: ca. 45 Minuten pro Aktivität
Kosten: gering (0-10 Euro)
Ort: drinnen und draußen
Materialien: Computer, Internet, Infrarot-Thermometer
Schlagwörter: Treibhauseffekt, Kohlendioxid, globale Erwärmung, Meeresspiegel, Albedo, Klima, Geographie, Physik, Naturwissenschaften

Kurzbeschreibung

Diese Reihe von Aktivitäten umfasst verschiedene Experimente, sowie die Interpretation von Satellitenbildern zum besseren Verständnis der allgemeinen Auswirkungen der globalen Erwärmung. Bei Aktivität 1 bauen die Schüler*innen ein Modell, um den Treibhauseffekt zu simulieren. Somit können sie selbst beobachten, dass ein höherer Kohlendioxidgehalt (CO₂) zu einer höheren Temperatur führt. Ergänzt wird das Experiment durch die Interpretation von Satellitenbildern, die den CO₂-Gehalt der Erde in verschiedenen Zeitperioden zeigen. Dadurch lernen die Schüler*innen einige der Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts kennen – das Schmelzen der Eiskappen und die Veränderung der Albedo-Werte. Diese Themen werden in den Aktivitäten 2 und 3 behandelt.

Lernziele

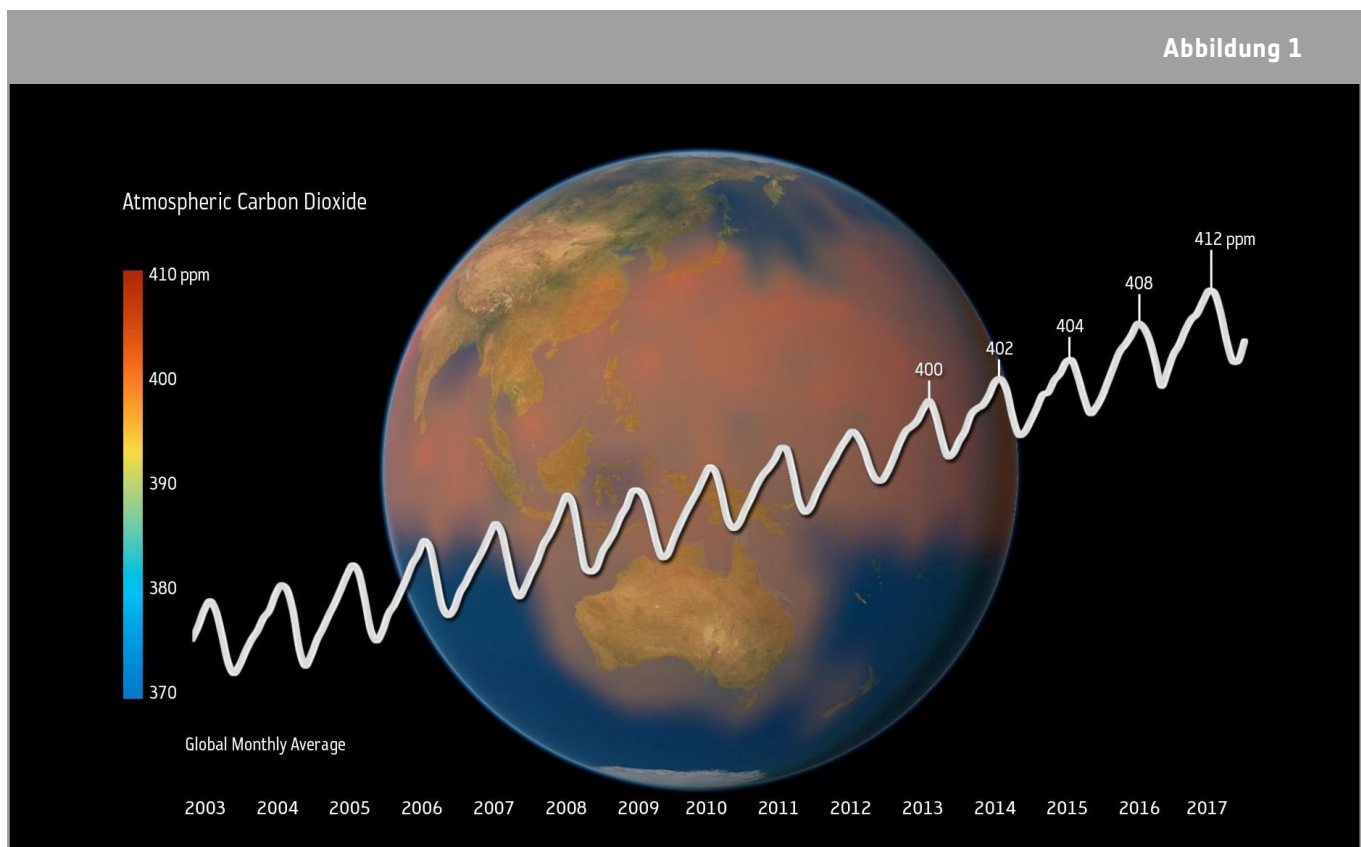
- Den Treibhauseffekt und den Einfluss menschlichen Handelns auf die Energiebilanz der Erdatmosphäre verstehen.
- Die potenziellen Auswirkungen eines erhöhten Kohlendioxidgehalts auf das Erdklima, sowie mögliche Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts kennen.
- Die verschiedenen Folgen von schmelzendem Meereis, Eisdecken und Gletschern verstehen (Überflutungen und der Anstieg des Meeresspiegels).
- Wissen, was die Albedo ist, und wie sich das Reflexionsvermögen verschiedener Oberflächen auf die Temperatur auswirkt.
- Verstehen, wie Erdbeobachtung zur Überwachung des Erdklimas genutzt werden kann.

→ Übersicht

Zusammenfassung der Aktivitäten					
	Titel	Beschreibung	Ergebnis	Voraussetzungen	Zeit
1	Treibhauseffekt – was ist das?	Die Schüler*innen stellen das Treibhausgas CO ₂ durch eine einfache chemische Reaktion her, messen die Wirkung des Gases auf die Lufttemperatur und setzen ihre Schlussfolgerungen mit dem Treibhauseffekt in unserer Atmosphäre in Beziehung.	Die Schüler*innen verstehen die Auswirkungen des Treibhausgases CO ₂ und den Treibhauseffekt.	Keine	45 Min.
2	Der Meeresspiegel als Indikator für die globale Erwärmung	Die Schüler*innen erkunden anhand praxisorientierter Aktivitäten die Auswirkungen des Schmelzens von Land- und Meereis.	Die Schüler*innen verstehen die Auswirkungen von schmelzendem Meereis auf Überschwemmungen im Vergleich zu schmelzenden Gletschern und Eisschilden.	Keine	45 Min.
3	Wie Veränderungen der Albedo das Klima beeinflussen können	Die Schüler*innen messen das Reflexionsvermögen verschiedener Oberflächen und untersuchen, wie dieses bei Oberflächen unterschiedlicher Farbe deren Temperatur beeinflusst.	Die Schüler*innen verstehen die Albedo und ihre Rolle für den Energiehaushalt der Erde.	Keine	45 Min.

→ Einführung

Die Aspekte der globalen Erwärmung können sehr komplex und schwierig zu verstehen sein. Um diese Konzepte zu begreifen, ist es wichtig, einige der „unsichtbaren“, aber wichtigen Prozesse zu untersuchen, die sich auf das Klima der Erde auswirken. So hängt die globale Erwärmung beispielsweise mit dem Treibhauseffekt zusammen, und das Abschmelzen der Eisschilde auf der Erde mit der Albedo des Planeten. Satellitenbilder sind ein wichtiges Instrument zur Überwachung von Veränderungen in der Erdatmosphäre, den Ozeanen und der Erdoberfläche. Verschiedene Arten von Satellitenbildern wie Radarbilder, Bilder im sichtbaren Licht oder Infrarotbilder liefern uns wichtige Informationen über das atmosphärische Kohlendioxid, die Menge der Wolken oder des Wasserdampfs in der Atmosphäre, den Meeresspiegel, die Meereiskonzentration und vieles mehr. An der ESA-Initiative zum Klimawandel ist eine Gemeinschaft von über 350 Klimawissenschaftler*innen beteiligt, die Langzeitbeobachtungen von Erdbeobachtungssatelliten analysieren, um die internationale Reaktion auf Veränderungen des Erdklimas zu verstehen und zu informieren.



↑ Der von Erdbeobachtungssatelliten gemessene Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre. Das jährliche Auf und Ab der Kurven ist auf saisonale Veränderungen der Vegetation und damit mehr oder weniger auf Photosynthese zurückzuführen.

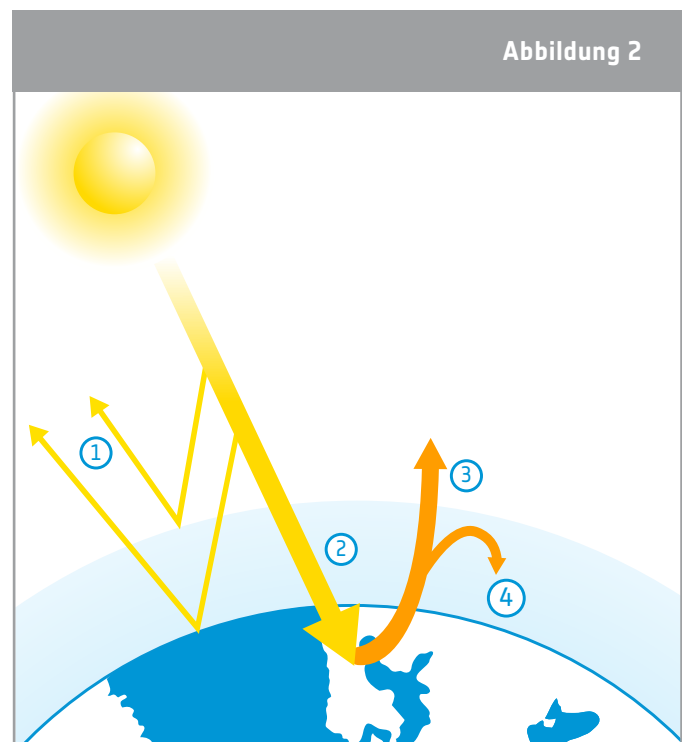
Der Anstieg des Kohlendioxids (CO_2) ist der wichtigste Faktor für die vom Menschen verursachte globale Erwärmung. Der höhere CO_2 -Gehalt heizt den Treibhauseffekt an und führt zu steigenden Temperaturen auf der Erde.

In dieser Unterrichtseinheit können die Schüler*innen praktische Experimente durchführen und Satellitendaten analysieren. Dabei untersuchen sie den Treibhauseffekt und einige Folgen der globalen Erwärmung.

→ Hintergrund

Von der Sonne emittierte Energie ist zum größten Teil sichtbares und nahinfrarotes Licht, das aus kurzwelliger Strahlung besteht. Diese Strahlung geht leicht an den Partikeln in der Atmosphäre vorbei. Wenn diese kurzwellige Strahlung auf die Erde trifft, wird ein großer Teil davon in Wärme umgewandelt. Die Temperatur der Erde steigt nicht unendlich an, da die Oberfläche und die Atmosphäre ebenfalls Wärme in den Weltraum abstrahlen. Dieser Nettostrom von Strahlung in das und aus dem Erdsystem wird als Strahlungsbilanz der Erde bezeichnet (Abbildung 2). Wärme ist langwellige Strahlung, die im Einzelnen weniger Energie enthält als die kurzwellige Strahlung. Das bedeutet, dass sie mit der Atmosphäre auf eine andere Weise interagiert. Die Erde strahlt tagsüber und nachts Wärme in die Atmosphäre zurück, was zur Abkühlung der Oberfläche beiträgt. Allerdings entweicht nicht die gesamte Wärme in den Weltraum, sondern ein Teil wird von den Treibhausgasen in der Atmosphäre zurückgehalten. Das Ergebnis ist, dass die Erdatmosphäre wärmer ist als sie es ohne diesen „Treibhauseffekt“ wäre.

Gäbe es keine Treibhausgase in der Erdatmosphäre, wäre das Leben wie wir es kennen fast unmöglich, da die durchschnittliche Oberflächentemperatur mehrere Grad Celsius unter Null liegen würde. Das wichtigste Treibhausgas in der Erdatmosphäre ist Wasserdampf. Er bindet den größten Teil der aus dem Boden kommenden Wärme. Die Treibhausgase, über die sich die Klimawissenschaftler mehr Sorgen machen, sind jedoch CO_2 und Methan (CH_4), da vor allem diese Treibhausgase durch menschliche Aktivitäten freigesetzt werden und deren Anteil in der Atmosphäre seit Beginn der industriellen Revolution zugenommen hat.



↑ Der Strahlungshaushalt der Erde.

- 1 - Ein Teil der Strahlung wird von der Atmosphäre, den Wolken und der Erdoberfläche reflektiert.
- 2 - Ein Teil der Strahlung wird von der Atmosphäre und den Wolken absorbiert; der größte Teil wird vom Land und den Ozeanen aufgenommen und erwärmt die Erde.
- 3 - Infrarotstrahlung wird auch von der Erdoberfläche emittiert. Ein Teil dieser Strahlung entweicht in den Weltraum.
- 4 - Ein Teil wird von den Treibhausgasen in der Atmosphäre aufgefangen.

→ Aktivität 1: DER TREIBHAUSEFFEKT – WAS IST DAS?

Um den Treibhauseffekt zu begreifen, testen die Schüler*innen bei dieser Aktivität eine Hypothese über den Einfluss des atmosphärischen Kohlendioxids auf die Temperatur der Erde. Die Schüler*innen analysieren auch Satellitenbilder, um zu verstehen, wie man Treibhausgase vom Weltraum aus überwachen kann.

Material (pro Gruppe)

- 2x 1-Liter-Kolben (durchsichtig)
- Korken mit Loch (Halterung für den Thermometer)
- 1x Glühbirne (mehr als 100W – muss Wärme abgeben)
- 2x Thermometer (0,1°C Präzision)
- Essigsäure 32%
- Backpulver
- Eiswürfel (optional)

Gesundheits- und Sicherheitshinweise:

Bei der Verwendung der Kolben und der Lampe ist eine gewisse Vorsicht geboten. Die Schüler*innen sollten die Wärmelampe möglichst nicht berühren. Die Lehrkraft sollte dabei helfen, die Essigsäure in die Kolben zu füllen.

Übung

Detaillierte Anweisungen zum Aufbau des Experiments finden Sie im Schüler*innenteil. Das Experiment kann erweitert werden, indem ein Eiswürfel in den Boden jedes Gefäßes gelegt wird. Die Schüler*innen können dann herausfinden, wie lange es dauert, bis der Eiswürfel schmilzt. Bitte beachten Sie, dass dieses Experiment sehr heikel ist und im Voraus getestet werden sollte. Das Experiment kann auch mit einem CO₂-Spender (zur Herstellung von Sodawasser zum Trinken) anstelle von 32%iger Essigsäure und Backpulver durchgeführt werden.

Diese Übung kann als praktische Aktivität für Schüler*innen oder als Demonstration durchgeführt werden.

Ergebnisse

In dem Kolben mit CO₂ steigt die Temperatur schneller als in dem Kolben ohne CO₂. Nach 10 Minuten beträgt der Unterschied in der Regel 1-3 °C. Es sollte betont werden, dass ein durchschnittlicher Anstieg von nur 2 Grad auf dem gesamten Planeten katastrophale Auswirkungen haben könnte. Zum Beispiel könnte dies zu einem erheblichen Anstieg des Meeresspiegels führen, was wiederum große Überschwemmungen zur Folge hätte.

Diskussion

Die Zusammensetzung der Luft in den Kolben beeinflusst die Menge der gestreuten und absorbierten Wärme. Die Schüler*innen vergleichen die Unterschiede in der Wärmeaufnahme (Temperaturänderungen) in einer Kontrollprobe und in einer Umgebung mit erhöhtem CO₂-Gehalt. Die Schüler*innen sollen zu dem Schluss kommen, dass die Temperatur in dem Kolben mit CO₂ schneller ansteigt als die Temperatur in dem „Kontrollkolben“.

Diskutieren Sie mit den Schüler*innen, wie das CO₂ in der Atmosphäre die Temperatur der Erde beeinflusst. Die wichtige Erkenntnis sollte sein, dass CO₂ die von der Erde abgestrahlte Wärme zurückhält. Deshalb ist die Temperatur auf der Erde höher, als wenn es kein CO₂ in der Atmosphäre gäbe. Die Schüler*innen sollten verstehen, dass unsere Atmosphäre und die darin enthaltenen Treibhausgase unseren Planeten bewohnbar machen.

Die Zunahme der vom Menschen produzierten Treibhausgase verändert jedoch die „normale“ Menge dieser Gase in unserer Atmosphäre und verursacht eine globale Erwärmung.

Als Erweiterung der Übung können die Schüler*innen Satellitendaten analysieren, um saisonale und langfristige Veränderungen des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre zu untersuchen und zu erörtern (siehe Links für Videovorschläge). Sie sollten auch eine saisonale Schwankung feststellen. Diese Schwankung ist auf das Wachstum der Vegetation zurückzuführen (vor allem auf der Nordhalbkugel, wo sich der größte Teil der weltweiten Vegetation befindet).

Die App „Climate from Space“ der Climate Change Initiative (CCI) der ESA gibt einen Überblick über die Treibhausgase, und die „Daten Layers“ zeigen u. A. die globale, von Satelliten abgeleitete Verteilung des atmosphärischen CO₂. Screenshots der „Daten Layers“ sind als Anhang verfügbar, falls die Schüler*innen keinen Zugang zum Internet haben. Die Lehrkraft kann diese Bilder ausdrucken, damit die Schüler*innen die langfristigen Veränderungen des CO₂ in der Atmosphäre diskutieren können.

→ Aktivität 2: Der Meeresspiegel als Indikator für die globale Erwärmung

Die Veränderung des Meeresspiegels ist eine der Hauptauswirkungen des anthropogenen – also vom Menschen verursachten – Klimawandels. Bei dieser Aktivität untersuchen die Schüler*innen die Auswirkungen, die die globale Erwärmung auf den Meeresspiegel haben könnte.

Gesundheits- und Sicherheitshinweise:

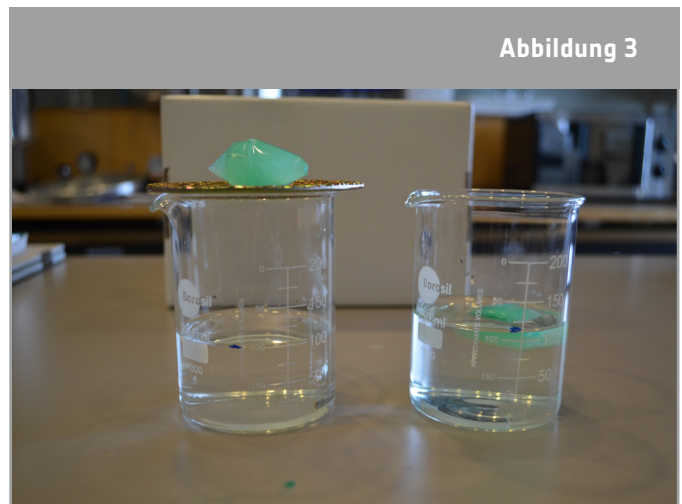
Es sind keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. Die Schüler*innen sollten sich die Hände nass machen, bevor sie die Eiswürfel aufheben, damit das Eis nicht an den Fingern kleben bleibt.

Übung

Vor Beginn des Experiments sollten die Schüler*innen in kleinen Gruppen ihre Erwartungen/Prognosen diskutieren. Falls nötig, erklären Sie den Unterschied zwischen Meereis und Landeis.

Eine Anleitung zur Durchführung der Aktivität finden Sie im Schüler*innenteil.

Der durchschnittliche Salzgehalt des Meerwassers beträgt 3,3 %. Zur Herstellung von „Meerwasser“ sollten die Schüler*innen einen Teelöffel Salz (ca. 5 g) in das Wasser geben.



↑ Der Aufbau des Experiments.

Um einer Lösung für die ganze Klasse vorzubereiten, befolgen Sie folgende Anleitung:

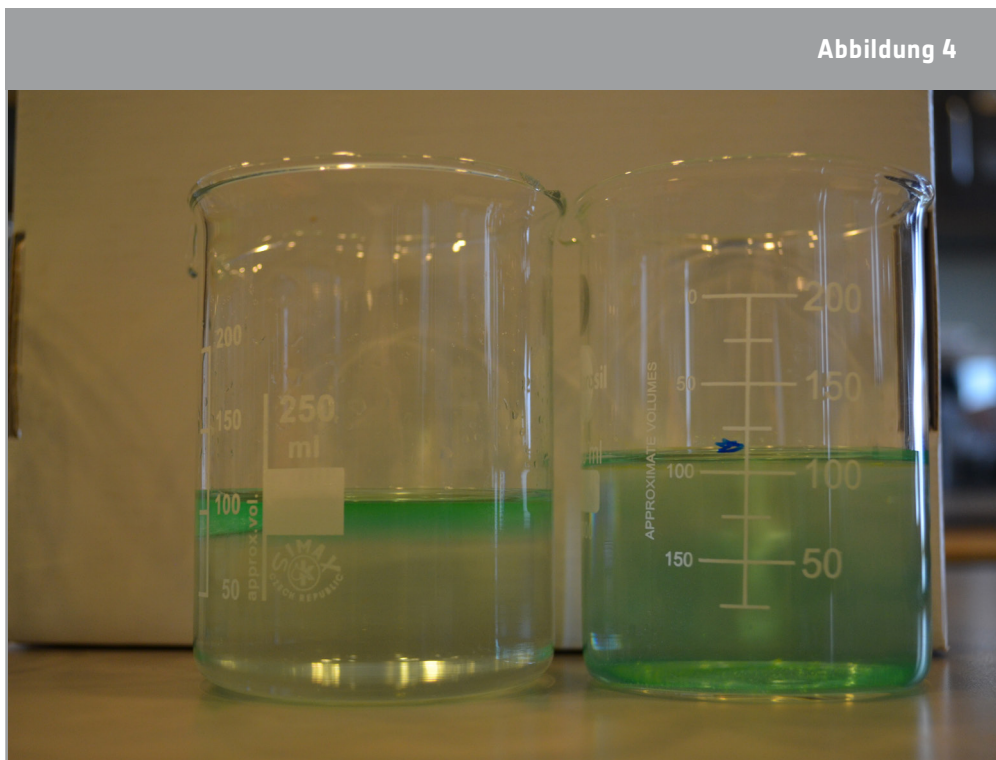
- Wiegen Sie 33 g Salz ab.
- Geben Sie das Salz in ein Becherglas und fügen Sie frisches Wasser hinzu bis die Gesamtmasse 1.000 g beträgt.
- Mit einem Rührstab umrühren, bis sich das Salz vollständig aufgelöst hat.

Ergebnisse

Tabelle 1 – Ergebnisse des Experiments				
	Wassermenge (ml)	Metallnetz hinzugefügt?	NaCl %	Beobachtungen
Becherglas 1	150	Ja	0	Der Wasserstand ist höher als zu Beginn.
Becherglas 2	150	Nein	0	Das Wasser bleibt auf demselben Niveau.
Becherglas 3	150	Ja	3,3	Der Wasserstand ist höher als zu Beginn.
Becherglas 4	150	Nein	3,3	Das Wasser bleibt auf demselben Niveau.

Die Schüler*innen sollen beobachten können, dass der Eiswürfel im Süßwasser schneller schmilzt als der im salzigen Wasser. Das liegt daran, dass das Salz den Schmelzpunkt des Eises verändert. Je nach Wissensstand der Schüler*innen können die Unterschiede in der Wärmekapazität diskutiert werden, damit die Schüler*innen auch besser verstehen, warum die Eiswürfel im Wasser schneller schmelzen als „an Land“.

Die Schüler*innen beobachten, dass beim Schmelzen des Süßwasser-Eiswürfels im Salzwasser das (gefärbte) Süßwasser des Eiswürfels als farbige Schicht auf der Oberfläche verbleibt aufgrund der Dichteunterschiede zwischen Süß- und Salzwasser (Abbildung 4).



↑ Das Schmelzwasser im salzigen Wasser bleibt oben (linkes Becherglas). Das Schmelzwasser im Süßwasser sinkt (rechtes Becherglas).

Diskussion

Wasser ist einer der wenigen Stoffe, die in fester Form eine geringere Dichte haben als in flüssiger Form. Aus diesem Grund schwimmt Eis. Das bedeutet auch, dass die gleiche Menge Wasser in fester Form ein größeres Volumen einnimmt als in flüssiger Form. Mit Hilfe des archimedischen Prinzips können Lehrer*innen erklären, warum sich der Wasserstand nicht verändert, wenn im Wasser schwimmendes Eis schmilzt. Dazu könnten die Schüler*innen die Eiswürfel auch wiegen.

Aus dieser Aktivität sollten die Schüler*innen folgende Schlüsse ziehen:

- Das Volumen des Meereises zählt bereits zum Volumen der Ozeane (der größte Teil des Eises ist bereits unter Wasser). Das Gewicht des Meereises entspricht dem Gewicht des Volumens des verdrängten Wassers. Wenn Meereis schmilzt, wird das verdrängte Wasser durch geschmolzenes Eis ersetzt. Wenn es schmilzt, vergrößert es also nicht das Volumen der Ozeane.
- Das Landeis trägt nicht zum Volumen der Ozeane bei. Wenn es also schmilzt, fließt es in den Ozean und vergrößert das Gesamtvolumen.
- Schmelzendes Meereis führt nicht zu einem Anstieg des Meeresspiegels, schmelzendes Landeis hingegen schon.

In erster Linie führt vor allem das Schmelzen von Landeis zum Anstieg des Meeresspiegels. Beachten Sie, dass das schmelzende Meereis indirekt zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen kann, da sich Eigenschaften wie der Salzgehalt und die Dichte verändern. Das Schmelzen von Land- und Meereis verändert auch den Strahlungshaushalt der Erde (dies wird in Aktivität 3 behandelt).

Als Erweiterung können sich die Schüler*innen mittels des Videos „Contributors to sea-level rise“ über Faktoren informieren, die zum Anstieg des Meeresspiegels führen, und ihre eigenen Ergebnisse mit den Informationen im Video vergleichen (siehe Links).

→ Aktivität 3: Wie Veränderungen der Albedo das Klima beeinflussen können

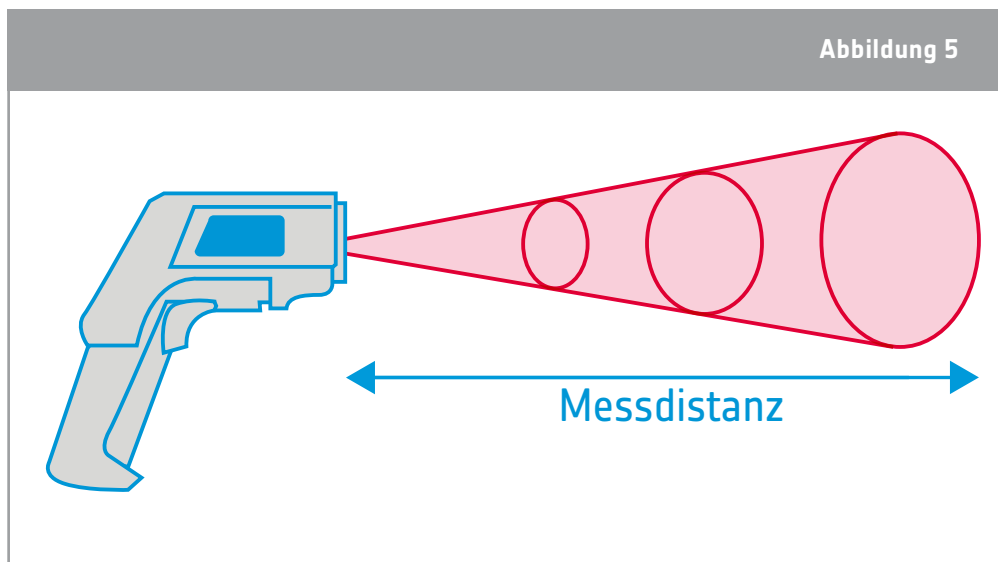
Durch ein Experiment entwickeln und testen die Schüler*innen eine Hypothese darüber, wie sich das Reflexionsvermögen von Oberflächen unterschiedlicher Farbe auf die Temperatur auswirkt. Die Schüler*innen werden verstehen, dass das Reflexionsvermögen verschiedener Oberflächen (die Albedo) eine wichtige Rolle für das Klima der Erde spielt. Die Schüler*innen suchen dabei Antworten auf folgende Fragen:

- 1) Wie beeinflusst die Farbe die Temperatur der Oberflächen?
- 2) Wie wirken sich Wind und Feuchtigkeit auf die Albedo aus? (Und somit auch auf die Temperatur der gemessenen Oberfläche?)

Material

- Infrarot-Thermometer
- Papier- oder Pappstücke in verschiedenen Grautönen und Farben (siehe Anhang II)
- Lampe mit Glühbirne (falls nicht sonnig)

Hinweis: Ein Infrarot-Thermometer ist ein Thermometer, das die Temperatur aus einem Teil der Wärmestrahlung ableitet, die von dem gemessenen Objekt ausgeht. Die Menge der von einem Objekt oder einer Oberfläche abgegebenen IR-Strahlung ist proportional zu seiner Temperatur. Große Mengen an IR-Strahlung bedeuten eine hohe Temperatur und kleine Mengen an IR-Strahlung bedeuten eine niedrige Temperatur.



↑ Schematische Darstellung eines IR-Thermometers, das die durchschnittliche IR-Strahlung misst.

Das IR-Thermometer wird aus einem Abstand von einigen Zentimetern auf eine Oberfläche gerichtet. Die erfasste Wärmestrahlung wird dann in die richtige Oberflächentemperatur konvertiert. Achten Sie darauf, bei jeder Messung den gleichen Abstand einzuhalten. Ein Infrarot-Thermometer misst nur die Oberflächentemperatur eines Objekts.

Übung

Eine Anleitung zur Durchführung der Übung finden Sie im Schüler*innenteil. Bevor die Schüler*innen die Übung durchführen sollten sie sich mit der Verwendung des IR-Thermometers vertraut machen. Wenn kein IR-Thermometer zur Verfügung steht, kann das Experiment aus Anhang III durchgeführt werden.

Ergebnisse

Bei Übung 1 werden die Schüler*innen innerhalb eines relativ kurzen Zeitintervalls einen Temperaturanstieg von 0,3 bis 0,5 °C pro Grauton bemerken.

In Übung 2 sollten die Schüler*innen feststellen, dass es viele Faktoren gibt, die die Messung der Oberflächentemperatur beeinflussen, wie die Luftfeuchtigkeit, die Bewölkung, die Tageszeit, sowie die Farbe und Beschaffenheit der Oberfläche.

Diskussion

Die Oberflächenfarbe eines Materials hat einen Einfluss auf die von der Strahlung absorbierten Wärme. Die Schüler*innen sollten bei der Übung feststellen, dass die Temperatur umso höher ist, je dunkler die Oberflächenfarbe ist (weil dunklere Materialien mehr Wärme absorbieren als hellere). Während der Diskussion sollten die Schüler*innen dies auf die Erde beziehen. Welche Oberflächen reflektieren wahrscheinlich die meiste Strahlung? Welche absorbieren die meiste Strahlung? Die Schüler*innen sollten folgenden Schlüsse ziehen:

- Helle Oberflächen (Eis, Schnee) haben eine hohe Albedo, d. h. sie reflektieren die meiste Sonnenstrahlung;
- dunkle Oberflächen (Wasser, Ozeane, Gras) haben eine niedrige Albedo, d. h. sie absorbieren den größten Teil der Sonnenstrahlung;
- wenn das Eis schmilzt, steigt die Temperatur der Erde weiter an, weil es zu Wasser wird, was zu einer kleineren hellen Fläche (Eis) und einer größeren dunklen Fläche (Wasser) führt;
- wenn die eisbedeckte Fläche schrumpft, wird im Sommer mehr Wärme vom Ozean absorbiert. Der Ozean braucht daher länger, um sich im Herbst abzukühlen, sodass die Bildung neuen Eises erst später beginnt.

→ Links

ESA Ressourcen

ESA classroom resources (EN)

https://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3

ESA Space Projects

ESA Climate Change Initiative (CCI) (DE)

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

ESA Greenhouse Gas (GHG) CCI+ project (EN)

<https://climate.esa.int/en/projects/ghgs/>

Sentinel-3 (EN)

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3

EarthCARE (EN)

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/EarthCARE/ESA_s_cloud_aerosol_and_radiation_mission

Zusatzinformationen

ESA app "Climate from Space" (EN)

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Climate_at_your_fingertips

Video "Contributors to sea-level rise" (EN)

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2017/06/Contributors_to_sea-level_rise

Video about the carbon cycle and its role in climate change (EN)

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2018/02/Carbon_Cycle

Video about how atmospheric constituents are changing and how these changes are affecting our climate (EN)

[esa.int/spaceinvideos/Videos/2018/01/Change_in_atmosphere](https://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2018/01/Change_in_atmosphere)

Information about the sea level and how it is measured (EN)

<https://climate.esa.int/en/projects/sea-level/data/>