



SPACE

awareness

LERNBAUKASTEN: DER KLIMAKOFFER

Dieser Baukasten enthält einen Satz von Aktivitäten, die dazu beitragen, wichtige Lehrinhalte zum Erdklima, zu verschiedenen Messmethoden sowie zum Klimawandel zu vermitteln.

MARKUS NIELBOCK, MARCO TÜRK

HAUS DER ASTRONOMIE, HEIDELBERG, DEUTSCHLAND

Themen aus den Lehrplänen

Zusammensetzung und Struktur der Erde, Orbit und Rotation, Lebensfreundlichkeit, Klimawandel, Schichten und Sphären der Erde, Ozeane, Atmosphäre, Biodiversität, Jahreszeiten, Satelliten, Umweltbewusstsein, Umweltschutz

Schlagwörter

Absorption, Altimetrie, Antarktis, Äquator, Archimedes, Arktis, Atmosphäre, atmosphärische Fenster, Auftrieb, Aufwind, Ballons, Breitengrad, Chemie, Copernicus, Eis, Energie, Erdbeobachtung, Erde, Exoplaneten, Exoskelett, Expansion, extrasolar, Fernerkundung, Gas, Gletscher, Globale Erwärmung, Habitable Zone, Jahreszeiten, Kalk, Klimadiagramm, Klimawandel, Kohlenstoffdioxid, Konvektion, Landsat, Leben, Licht, Lichtspektrum, Luft, Meeresorganismen, Meeresspiegel, Methan, Mittelwert, Modell, Oberfläche, Orbit, Ozeane, pH-Wert, Planeten, Pole, Radar, Radar-Altimetrie, Satellitenbilder, Schwarzer Körper, Seen, Sentinel, Solarkonstante, Solarzelle, Sonne, Sonneneinstrahlung, Sonnenenergie, Sonnenstrahlung, Sonnenwende, Spektralindex, Stefan-Boltzmann Gesetz, Sterne, Strahlung, Temperatur, Thermische Ausdehnung, Thermokline, Thermometer, Treibhauseffekt, Treibhausgase, Vegetation, Versauerung, Wärme, Wärmekapazität, Wärmespeicher, Wärmestrahlung, Wasser, Wetter, Wind, Winkel

Bildungsebene

Weiterführende Schulen

Sprache

Englisch, Deutsch

Inhalt des Baukastens

15 einzelne Aktivitäten

Zentrale Fähigkeiten

Fragen beantworten
Modelle entwickeln und nutzen
Beobachtungen planen und ausführen
Daten analysieren und interpretieren
Erklärungen entwickeln
Evidenzbasiert argumentieren
Information kommunizieren

Art der Lernaktivität

Forschendes Lernen

INHALT

Lernbaukasten: Der Klimakoffer	1
Einleitung.....	3
Die Erde – Ein einzigartiger Planet	3
Das Erdklima	4
Erstelle deinen eigenen Klimakoffer	6
Liste der Aktivitäten	8

EINLEITUNG

Das Weltraumsegment des europäischen Erdbeobachtungsprogramms *Copernicus*¹ besteht aus Satellitenmessungen. Ein Zweck dieses Segments ist die Überwachung des Erdklimas und dessen Veränderungen. Mit dieser Vorgabe behandelt unser Lernbaukasten den aktuellen Wissensstand und die wissenschaftlichen Belege für den Klimawandel und dessen Auswirkungen. Der *Klimakoffer* ist ein Satz von Aktivitäten, die komplexe Phänomene in einfache Übungen und Experimente herunterbrechen, um wissenschaftliche Aspekte des Klimawandels im Detail zu beleuchten. Jede Aktivität befasst sich mit einem Baustein einer hierarchisch aufgebauten Sequenz von Themen, die das Klimasystem der Erde behandeln.

Die einzelnen experimentellen Aufbauten sind in einer Weise erdacht, dass ihre Komponenten entweder günstig zu erwerben oder zumindest einfach zu bekommen sind. Die Themen, die durch den Baukasten abgedeckt werden, beinhalten grundlegende physikalische Vorgänge, die das globale Klimasystem bestimmen, sowie Phänomene und Folgen, die für Jeden erfahrbar sind. Querbezüge zwischen den Aktivitäten unterstützen die Vorstellung eines komplexen und verflochtenen Charakters des Erdklimas.

DIE ERDE – EIN EINZIGARTIGER PLANET

Die Erde ist derzeit der einzige Planet, den wir kennen, auf dem sich Leben über Milliarden Jahre hinweg entwickelt und erhalten hat. Seit den ersten Entdeckungen von Planeten außerhalb des Sonnensystems kennen wir nun 3610 Exoplaneten in 2704 Planetensystemen² (Stand: 2. Juni 2017). Allerdings gelten davon nur etwa ein Dutzend als potentiell lebensfreundlich³. Daher scheint es bislang, dass Planeten, die wie die Erde Leben beherbergen, selten sind.

So wie es die Grundvoraussetzung für jeden lebensfreundlichen Planeten ist, gilt die Sonne als wichtigste Energiequelle für alle chemischen und biologischen Prozesse auf der Erde. Wie viel von dieser Energie tatsächlich vom Klimasystem der Erde genutzt wird, hängt von Parametern wie der Leuchtkraft der Sonne, ihr Abstand von der Erde und Eigenschaften der Erde wie die Albedo sowie die Zusammensetzung der Oberfläche und der Atmosphäre ab.

Ein Begriff, der oft einen ersten Hinweis auf eine potentielle Lebensfreundlichkeit eines Planeten hinweist ist die *habitable Zone*⁴. Dabei handelt es sich um den Bereich in einem Planetensystem, in dem Wasser in seiner flüssigen Form bestehen kann (Aktivität 1). Physikalisch gesehen, bedeutet dies, dass die Gleichgewichtstemperatur, die sich durch die Beleuchtung durch das Zentralgestirn einstellt, weder zu hoch noch zu niedrig ist. Ob allerdings ein Planet in dieser Zone tatsächlich flüssiges Wasser besitzt oder Leben beherbergt, hängt von individuellen Eigenschaften des Planeten wie seine Größe, die Dichte, die Orientierung seiner Rotationsachse im Raum sowie ein etwaiges Magnetfeld ab. Es scheint viele mögliche Konfigurationen für potenziell lebensfreundliche Planeten zu geben. Daher können wir mit Sicherheit sagen, dass die Erde – zumindest innerhalb unseres derzeitigen Wissens – recht einzigartig ist.

¹ [http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Spezial_Copernicus - Europas Waechter im Weltraum](http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Spezial_Copernicus_-_Europas_Waechter_im_Weltraum)

² <http://www.exoplanets.eu>

³ <http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>

⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Habitable_Zone

DAS ERDKLIMA

DER ENERGIEHAUSHALT

Die Sonneneinstrahlung, bzw. die Intensität, mit der die Strahlung der Sonne die Erde trifft, ist solaren Aktivitätszyklen und jährlichen Variationen durch den exzentrischen Orbit der Erde um die Sonne unterworfen. Der wissenschaftlich akzeptierte und festgelegte jährliche Mittelwert beträgt $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ und wurde durch Satellitenmessungen ermittelt⁵. Gemittelt über die gesamte Erdoberfläche beträgt die mittlere Strahlungsintensität etwa 340 W/m^2 .

Dies sind die Größen, die das Wetter (Aktivität 2) und das Klima bestimmen. Während das Wetter als ein atmosphärisches Phänomen verstanden wird, dass sich auf kurzen Zeitskalen ändert (Temperatur, Luftdruck, Niederschlag), gilt das Klima als zeitlicher Mittelwert dieser Prozesse über eine große Zeitspanne (ca. 30 Jahre). Nimmt man ein Gleichgewicht von Absorption und Emission von Strahlung an, kann eine Gleichgewichtstemperatur ermittelt werden, die für die Erde global derzeit etwa 14°C entspricht. Ohne die Atmosphäre wäre dieser Wert deutlich geringer⁶.

KLIMAZONEN UND JAHRESZEITEN

Zusätzlich zu den zeitlichen Schwankungen kennen wir auch räumliche Variationen der klimatischen Bedingungen, die man in Klimazonen einteilt⁷. Diese sind grob nach den Breitengraden ausgerichtet, da der Einstrahlwinkel der Sonne vom Äquator hin zu den Polen abnimmt (Aktivitäten 3 und 4). Die resultierende Variation der Strahlungsintensität, die auf die Erdoberfläche trifft, führt zu verschiedenen Reaktionen des Klimasystems. Da die Sonneneinstrahlung, im Mittel, um den Äquator herum am stärksten ist, finden wir dort den Motor des globalen Windsystems, der auf dem Prinzip des Auftriebs bzw. Aufwinds basiert (Aktivität 2).

Zudem zeigen die klimatischen Verhältnisse jährliche Schwankungen, die auf der Neigung der Erdachse beruhen. Während die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne läuft, ist die räumliche Verteilung der Sonneneinstrahlung räumlichen Variationen unterworfen, da die Sonne scheinbar zwischen den beiden Wendekreisen wandert. Diese Phänomen erzeugt die Jahreszeiten⁸.

WÄRMESENKEN

Mehrere Komponenten des Klimasystems erfahren einen Wärmeeintrag, am meisten davon die Atmosphäre und die Ozeane. Tatsächlich nehmen die Ozeane mehr als 90% der eingestrahnten Sonnenenergie auf⁹, jedoch ist es die Atmosphäre, in der sich das Wetter abspielt. Daher helfen die Meere, den Effekt der globalen Erwärmung abzumildern (Aktivitäten 5 und 6), allerdings nur bis zu einem gewissen Grad, da die Wärme vorzugsweise an den Meeresoberflächen aufgenommen wird¹⁰ (Aktivität 7).

⁵ <http://www.solar.lucycity.de/index.php/sonnenenergie>

⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Gleichgewichtstemperatur>

⁷ <http://www.unser-planet-erde.de/klimazonen/>

⁸ <http://www.kindernetz.de/infonetz/tiereundnatur/wetter-klima/jahreszeiten/-/id=32556/nid=32556/did=32522/1xvse1y/index.html>

⁹ <https://bildungsserver.hamburg.de/ozean-und-klima/2070096/ozean-erwaermung-artikel/>

¹⁰ <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-surface-temperature>

TREIBHAUSGASE

Die Atmosphäre nimmt wenig Wärme vom Sonnenlicht direkt auf. Wäre dieser Prozess effektiver, sähen die Tage recht dunkel aus. Stattdessen beleuchtet das Sonnenlicht die Erdoberfläche, wo es in Infrarot- bzw. Wärmestrahlung umgesetzt wird (Aktivität 8). Diese wird von dort abgestrahlt und zu einem gewissen Prozentsatz von der Atmosphäre unter Erwärmung absorbiert. Zusätzlich zur einfachen Erwärmung können einige Gase der Atmosphäre Photonen mit gewissen Energien durch quantenmechanische Effekte absorbieren. Dies stimuliert Moleküle mit elektrischen Dipolmomenten zu Vibrationen. Nach einer Weile regen sich die Vibrationszustände unter Aussendung eines energetisch passenden Photons wieder ab. Allerdings werden diese Photonen nun in alle Richtungen abgestrahlt und nicht nur nach oben, wie es bei der Abstrahlung vom Erdboden aus geschieht. Daher verbleibt ein Teil der ursprünglich emittierten Infrarotstrahlung in der Atmosphäre und trägt zur zusätzlichen Erwärmung bei. Daher nennt man diese Gase auch *Treibhausgase*. Die stärksten und größten Beiträge zur Erwärmung kommen vom Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid (Lachgas). So lange die Konzentration dieser Gase in der Atmosphäre konstant ist, ist der Energieaustausch im Gleichgewicht. Dieser natürliche Treibhauseffekt ist erwünscht und verhindert, dass die Erde sich in einen kalten Schneeball verwandelt.

KLIMAWANDEL

So lange die Randbedingungen eines komplexen Systems wie das Klima stabil bleiben, kann ein Gleichgewichtszustand erreicht werden. Jedoch gibt es starke Anzeichen dafür, dass dies nicht mehr der Fall ist. So wird beispielsweise der Kohlenstoffhaushalt durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in großem Maße beeinträchtigt¹¹. Kohlenstoff, der im Boden eingeschlossen war, wird von dort entnommen und im großen Umfang in die Atmosphäre verbracht. Solche Kohlenstoffpumpen können durch natürliche Prozesse nur schwer kompensiert werden, weswegen die Atmosphäre zunehmend mit Kohlenstoffdioxid angereichert wird¹². Ähnliche Argumente treffen auch auf andere Treibhausgase zu. Daher wird der Treibhauseffekt (Aktivität 9) verstärkt. Es besteht großes Einvernehmen, dass der durch Menschen verursachte Einfluss das Klima auf globaler Ebene beeinträchtigt. Diese Einschätzung wird durch mehrere Beobachtungen gestützt.

Die mittlere globale Lufttemperatur ist seit dem Beginn der Industriellen Revolution gestiegen¹³. Die Rate des Anstiegs ist dabei ungewöhnlich. Zudem ist die Konzentration des Kohlenstoffdioxids inzwischen mit großer Geschwindigkeit auf einen Wert gestiegen, den die Erde zumindest seit einigen Hunderttausend Jahren nicht erlebt hat. Die durch den Treibhauseffekt zusätzlich gespeicherte Wärme führt durch das Abschmelzen von Eismassen und der Wärmeausdehnung des Wassers zu einem Anstieg der Meere (Aktivitäten 10 und 11), und möglicherweise sogar zu einer Zunahme von extremen Wettersituationen. Die Ozeane können Wärme und Kohlenstoffdioxid speichern, was hilft, die globale Erwärmung abzumildern. Allerdings geht das mit einer zunehmenden Versauerung der Meere einher¹⁴ (Aktivitäten 12 und 13), welche die Meeresfauna bedroht und somit die Nahrungskette beeinflusst. Die globale Erwärmung macht sich auch in den Meerestemperaturen

¹¹ <http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/kohlendioxid-emissionen>

¹² <https://bildungsserver.hamburg.de/treibhausgase/2052404/kohlendioxid-konzentration-artikel/>

¹³ <https://bildungsserver.hamburg.de/klimaenderung-nav/2041618/durchschnittstemperatur-150-jahre/>

¹⁴ <https://www.awi.de/im-fokus/ozeanversauerung.html>

bemerkbar. Höhere Wassertemperaturen reduzieren die Fähigkeit, Gase zu binden, was wiederum den Treibhauseffekt verstärkt.

MESSTECHNIKEN

Feldmessungen mit Probeentnahmen und Messvorrichtungen werden zunehmend durch Erdbeobachtungsprogramme mit Satelliten mittels Fernerkundung unterstützt^{15,16}. Satelliten haben den Vorteil, dass sie einen großen Teil der Erdoberfläche in kurzer Zeit abdecken können. Typische Instrumente zur Fernerkundung nutzen die spektralen Eigenschaften des vom Erdboden reflektierten Sonnenlichts sowie Radarhöhenmessungen (Aktivitäten 14 und 15). Während die Spektralanalyse die Anteile und Eigenschaften der Atmosphäre, des Bodens und der Vegetation analysieren kann, erfassen Radarmessungen Bodenmerkmale in präziser Weise, z. B. die Dicke, Verteilung und Beschaffenheit von Eis¹⁷.

ERSTELLE DEINEN EIGENEN KLIMAKOFFER

Der *Klimakoffer* ist ein Experimentierbaukasten und wurde konzipiert, um die Ausrüstung bereitzustellen, die für die Durchführung von 15 Aktivitäten benötigt werden, die im Rahmen des Themas „Unser zerbrechlicher Planet“ entwickelt wurden. Für Testzwecke wurde ein Prototyp des Koffers erdacht und produziert. Einen eigenen Klimakoffer zu erstellen, ist einfach und kostengünstig. Seine kompakte Form ermöglicht einen einfachen Transport.



Abbildung 1: Inhalt des Prototyps des Klimakoffers (eigenes Werk).

INHALT DES KLIMAKOFFERS

Die nachgenannten Preise sind Beispiele und gelten für den Prototypen, der am Haus der Astronomie (Heidelberg, Deutschland) erstellt wurde. Die tatsächlichen Preise können davon abweichen, insbesondere in anderen Ländern.

Aktenkoffer

- 1 Aktenkoffer für die Aufbewahrung

Unverbindlicher Preis: € 20,00

¹⁵ [http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Spezial_Copernicus - Europas_Waechter_im_Weltraum](http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Spezial_Copernicus_-_Europas_Waechter_im_Weltraum)

¹⁶ <http://eosps.nasa.gov/>

¹⁷ <https://www.cresis.ku.edu/>

Starke Lampe/Strahler und Experimentierplattform

Dies ist das Herz des Baukastens. Die Plattform wurde so konzipiert, dass sie in den Koffer passt. Sie besteht aus vier einzelnen Holzbrettern, die zusammengebaut einen Rahmen bilden. Die Lampe ist ein Halogenstrahler, der an einer der langen Seiten des Rahmens befestigt ist.

- 1 Halogenstrahler
- 4 Holzbretter
- 1 Dimmer¹⁸

Unverbindlicher Preis: € 20,00

Thermometer

- 1 digitales Thermometer
- 2 Alkoholthermometer

Unverbindlicher Preis: € 15,00

Behälter

Für die Experimente werden mehrere Behälter für Wasser und andere Materialien benötigt. Diese sind im Einzelnen:

- 1 transparente Kiste, die die Ausstattung beinhaltet und in den Koffer passt.
- 1 transparenter Plastikbecher
- Schwarze Pappe
- 2 Petrischalen (Plastik oder Glas)
- 1 Becher mit Schraubverschluss gefüllt mit etwas Sand oder Erde
- 1 Glaskolben, Volumen: 250 ml

Unverbindlicher Preis: € 22,00

Glasrohr

- 1 Glasrohr
- 1 Gummistopfen mit Loch (passend für Glaskolben und Rohr)

Unverbindlicher Preis: € 4,00

Solarzellenbetriebener Elektromotor

- 1 Elektromotor oder Lüfter
- 1 Solarzelle
- Sperrholz für Motorgehäuse und einige Kabel

Unverbindlicher Preis: € 5,00

¹⁸ <https://is.gd/XWyOz2>



Messinstrumente

- 1 Zollstock oder Maßband
- 1 Stoppuhr

Unverbindlicher Preis: € 7,00

pH-Wert-Farbindikator

- pH-Indikatorlösung¹⁹ (z. B. nach McCrumb²⁰, pH-Test²¹, oder aus Rotkohl²²)

Unverbindlicher Preis: € 5,00

Teelichter

- 4 Teelichter
- 1 Feuerzeug oder Streichhölzer

Unverbindlicher Preis: € 1,00

Zubehör

- 1 Satz Luftballons
- Einige Strohhalme
- Holzspieße

Unverbindlicher Preis: € 1,00

Gesamtbetrag: ca. € 100,00

LISTE DER AKTIVITÄTEN

#	Titel	Thema	Kurzbeschreibung
1	Der Motor des Lebens	Habitable Zone	Die Schülerinnen und Schüler simulieren den Zusammenhang zwischen der Intensität der Strahlung, die ein Planet von seinem Zentralgestirn erfährt und ihrer Entfernung zueinander. Sie nutzen eine Lampe und eine Solarzelle, die einen Motor antreibt. Die Spannung, mit der die Solarzelle den Motor versorgt, ist nur für Distanzen ausreichend, die nicht zu weit von der Lichtquelle entfernt sind.
2	Die Innertropische Konvergenzzone	Globales Windsystem	Diese Aktivität behandelt einen der Effekte, der durch die Beleuchtung von Oberflächen wie die Äquatorregion der Erde entsteht. Erwärmte Luft produziert einen Aufwind, der die Ursache für das globale Windsystem ist. Die Schülerinnen und Schüler bauen ein Modell eines Aufwindturms.

¹⁹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Universalindikator>

²⁰ <https://www.winlab.de/experimentiergeraete/allgemeines-experimentiermaterial/ph-wert-bestimmung/universalindikator-fluessig-gruen-mit-farbskala>

²¹ <https://is.gd/vB7ZwX>

²² <https://www.simplyscience.ch/teens-experimente-farben-licht/articles/rotkohl-als-indikator.html>

			Bei Beleuchtung treibt die aufsteigende Luft einen Propeller an.
3	Das Klima in Zahlen und Diagrammen	Klimazonen	Diese Aktivität demonstriert, dass das Klima der langjährige zeitliche Mittelwert von Wetterphänomenen ist. Die Schülerinnen und Schüler produzieren mit echten Wetterdaten aus Temperaturen und Niederschlagswerten Klimadiagramme. Diese sind sehr diagnostisch bei der Bestimmung des lokalen Klimas.
4	Klimazonen	Klimazonen	Diese Aktivität zeigt, dass die Klimazonen durch verschiedene Einfallswinkel der Sonnenstrahlung zu unterschiedlichen Breitengraden entstehen. Eine Lampe beleuchtet eine Solarzelle, die einen Motor antreibt. Die von der Zelle zur Verfügung gestellte Spannung hängt von dem Neigungswinkel zur Lampe und damit der beleuchteten Querschnittsfläche ab. Mit demselben Versuchsaufbau lassen sich auch die Jahreszeiten erklären.
5	Wasser ist eine Wärmesenke	Energiebilanz	Die Schülerinnen und Schüler erkennen die Fähigkeit des Wassers, Wärme besser zu absorbieren und zu speichern als Luft. Hierzu dient ein einfaches Experiment, in dem zwei Ballons – einer mit Luft und einer mit Wasser gefüllt – mit einer Flamme erhitzt werden.
6	Die Ozeane als Wärmespeicher	Energiebilanz	Diese Aktivität dient als quantitative Erweiterung zur vorherigen. Sie zeigt, wie Ozeane große Mengen an Wärme speichern können, während die Kontinente sich schnell erwärmen. Die Schülerinnen und Schüler messen die Temperaturerhöhung von Erde und Wasser, die von einer starken Lampe beleuchtet werden.
7	Die thermischen Schichten der Ozeane	Ozeane	Basierend auf den Aktivitäten, die die Fähigkeit der Ozeane zum Speichern von Wärme thematisieren, zeigt diese Unterrichtseinheit, dass die Wärme tatsächlich nur in den oberen Wasserschichten absorbiert und in Temperatur umgewandelt wird. Es stellt sich eine Temperaturschichtung ein. Die Schülerinnen und Schüler führen ein Experiment aus, das diesen Effekt simuliert. Ein Becher Wasser wird von oben beleuchtet. Nach einer Weile messen sie die vertikale Temperaturverteilung mit einem Thermometer aus.
8	Globale Erwärmung der Atmosphäre	Globale Erwärmung	Diese Aktivität beleuchtet die grundlegenden Prozesse beim Heizen der Atmosphäre. Diese werden dominiert durch indirekte Heizung durch Infrarotstrahlung vom erwärmten Boden. Das Experiment benutzt einen durchsichtigen Plastikbecher, dessen Boden mit einer schwarzen Pappe belegt ist. Durch die Beleuchtung erwärmt sich der Boden des Bechers und heizt die Luftschicht unmittelbar darüber. Das führt zu einem messbaren Temperaturgefälle mit zunehmender Höhe.
9	Der Treibhauseffekt	Treibhauseffekt	Die Schülerinnen und Schüler führen ein Experiment aus, das den Einfluss des Treibhauseffekts auf das globale Klima simuliert. Sie vergleichen die Temperaturanstiege von beleuchteter Luft in einem abgeschlossenen und einem offenen Behälter.
10	Der Anstieg der Meere	Anstieg der Meeresspiegel	Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass eine der Konsequenzen des Klimawandels, der Anstieg der Meeresspiegel, sich bereits aktuell beobachten lässt. Ein einfaches Experiment mit Wasser, das durch Beleuchtung erwärmt wird, zeigt, dass Wasser mit zunehmender Temperatur



			expandiert. Innerhalb eines geschlossenen Behälters führt dies zu einem Anstieg der Wassersäule. Das ist einer der Faktoren, die zum Anstieg der Meeresspiegel führen.
11	Die große Schmelze	Anstieg der Meeresspiegel	Mit diesem Experiment wird gezeigt, in welcher Weise schmelzendes Eis zum Anstieg der Meere beiträgt. Schwimmendes Eis hat keinen Effekt, während Schmelzwasser, das vom Land ins Meer fließt, die Pegel steigen lässt.
12	Wasser zu Säure ... und zurück	Kohlenstoffkreislauf	Diese Aktivität demonstriert die temperaturabhängige Eigenschaft von Wasser, Kohlenstoffdioxid zu lösen und in Kohlensäure umzuwandeln. Die Schülerinnen und Schüler blasen verbrauchte Atemluft in destilliertes Wasser und messen den pH-Wert. Anschließend wird das gelöste CO ₂ wieder aus der Lösung durch Erhitzen herausgetrieben. Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass die Versauerung der Ozeane eine ernste Gefahr für die Meeresfauna darstellt.
13	Versauerung der Meere	Kohlenstoffkreislauf	Nachdem die Schülerinnen und Schüler das Phänomen der Versauerung der Meere durch Lösen von Kohlenstoffdioxid untersucht haben, wendet sich diese Aktivität der Problematik in einer etwas realistischeren Weise zu. Das Experiment zeigt, dass sich Kohlensäure nur in den obersten Wasserschichten bildet, dort wo das Wasser mit der Atmosphäre im Kontakt steht.
14	Zwischen Berg und tiefem Tal	Radarhöhenmessung	Die Schülerinnen und Schüler lernen, wie Radaraltimetrie durch Satelliten bei der Erstellung von Höhenkarten hilft. Sie vermessen ein Landschaftsmodell, das in einer Schachtel versteckt ist, mit Holzspießen, die durch den Deckel geschoben werden. Ein Messgitter gibt eine Tabelle von Messwerten vor, aus denen Karten verschiedener Art rekonstruiert werden können.
15	Die Erde von oben	Erdbeobachtung	Ein Computerprogramm, das speziell für Bildungszwecke entwickelt wurde (LEO Works), wird für die Analyse von echten Satellitendaten genutzt. Die Schülerinnen und Schüler erlernen grundlegende Analysemethoden und wenden sie auf Satellitenbilder an. Dabei nutzen sie dieselben Verarbeitungsschritte, wie sie auch im professionellen Bereich eingesetzt werden, um geophysische Informationen wie den Vegetationsgrad oder die räumliche Verteilung von offenen Gewässern zu bestimmen.



Dieses Material wurde von Space Awareness entwickelt. Space Awareness wird von der Europäischen Kommission durch das Programm „Horizonte 2020“ gemäß Fördervereinbarung Nr. 638653 finanziert.