



Moritz Strähle, Michael Sach und Cecilia Scorza

„Steigt der Meeresspiegel, wenn das Eis schmilzt?“

Klassische Experimente aus der Wärmelehre im Kontext einer Lerneinheit eines fächerübergreifenden Schulprojektes

| | |
|-----------------------------|--|
| KLASSENSTUFE: | 9 (auch andere Klassenstufen möglich) |
| ZEITUMFANG: | Projekt über ein Schuljahr; vorgestelltes Modul: ca. 2 Doppelstunden |
| THEMA: | Klimawandel (fächerübergreifend) |
| KOMPETENZEN: | Fachwissen, Handlungskompetenzen |
| METHODEN: | Experimente, Lernen an Stationen |
| WEITERE MATERIALIEN: | Projekt: http://www.klimawandel-schule.de Modul: https://klimawandel-schule.de/sekundarstufe1/anstieg_meeresspiegel/ |

In einer einminütigen Videosequenz aus einem „ZDF heute plus“-Beitrag (https://www.klimawandel-schule.de/fw_inseln) wird behauptet, dass aufgrund des Klimawandels Inseln im Pazifik überflutet werden (s. a. **Abb. 1**) und davon mindestens eine Million Bewohner betroffen sind. Im hier vorgestellten Unterricht gehen die Jugendlichen solchen Prognosen im Rahmen von Experimentierstationen nach.

Dabei erarbeiten die Lernenden die Ursachen und die Folgen abschmel-

zender Eismassen. Die ausgewählten Experimente, die einem klassischen Unterrichtsgang der Wärmelehre entnommen sind, werden in einen realen Kontext sinnvoll eingebunden und tragen damit direkt zur Klimabildung bei. Hintergrundtexte zu den einzelnen Stationen machen den Lernenden transparent, wie die Experimente dem Kontext des Klimawandels zugeordnet sind.

Die Lerneinheit ist zwar in der Physik zu Hause, hat aber direkte Verbindungen zu Mathematik, Biologie und Geographie.¹⁾

Zunächst stellen wir den fachlichen Hintergrund dar, blicken dann auf die Lernstationen mit einer kurzen Kommentierung der Experimente und geben schließlich Hilfestellung zur Einbindung in ein fächerübergreifendes Schulprojekt, das seit einiger Zeit erprobt wird.

Fachlicher Hintergrund

Der aktuell stattfindende Anstieg des Meeresspiegels hat verschiedene Ursachen (s. **Abb. 2**). Laut einem Bericht

des Weltklimarats (IPCC) von 2019 [1] trugen im Zeitraum von 2006 bis 2015 vor allem abschmelzende Eismassen auf dem Festland, also der grönländische Eisschild (0,77 mm/Jahr), der antarktische Eisschild (0,43 mm/Jahr) sowie alle weiteren Gletscher (0,61 mm/Jahr) zum Anstieg des Meeresspiegels bei.

Die thermale Expansion des Wassers in den Ozeanen trug mit 1,40 mm/Jahr bei. Insgesamt prognostiziert der IPCC im Szenario RCP 8.5²⁾ (vgl. [1]) weiter zunehmende Anstiegsraten und einen Gesamtanstieg von 61 cm bis 110 cm bis zum Jahr 2100.

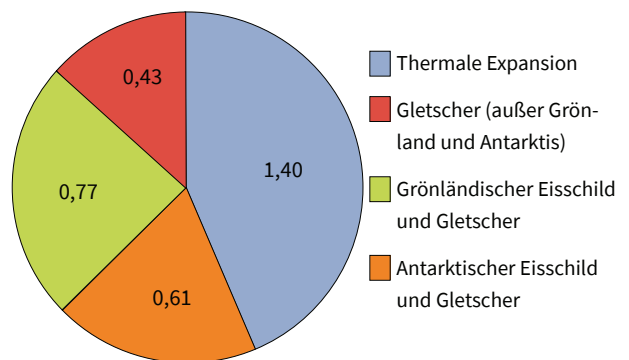
Materialien

Eine Verlaufsskizze einer möglichen Durchführung (s. a. **Tab. 1**), Aufgabenbeschreibungen für die Schülerinnen und Schüler sowie Hintergrundtexte, um den Bezug zum realen Kontext noch weiter zu unterstützen, sind in der Materialsammlung auf http://www.klimawandel-schule.de/anstieg_meeresspiegel zu finden.

Alle Materialien wurden im Rahmen des Projekts „Klimawandel: verstehen

Bild aus rechtlichen Gründen in dieser Version nicht sichtbar.

1 | Auswirkungen des Klimawandels im Pazifik



2 | Anstieg des Meeresspiegels nach Verursachern in mm/Jahr

HINTERGRUND **1**

Das Projekt „Klimawandel: verstehen und handeln“

Ziel des Projekts „Der Klimawandel: verstehen und handeln“ (<http://www.klimawandel-schule.de>) der Fakultät für Physik der LMU München ist es, den Klimawandel in Schulen stärker in den Fokus zu rücken, mit Schülerinnen und Schülern über ein Verständnis der naturwissenschaftlichen Hintergründe die Notwendigkeit zum Handeln herauszuarbeiten und zum konkreten Handeln zu motivieren. Mit den Experimenten im Klimakoffer (s. **Abb. 3**), dem „Handbuch Klimawandel“ für Lehrkräfte“, Unterrichtsmodulen und vielen weiteren Materialien sollen Lehrkräfte unaufwendig im Fachunterricht, in Form fächerübergreifenden Arbeitens oder in Projekten mit ihren Schülerinnen und Schülern am Thema arbeiten können.



3 | Klimakoffer und weitere, im Rahmen des Projekts „Klimawandel: verstehen und handeln“ entwickelte Materialien

| Phase | Inhalt |
|-------------------------------|---|
| Anknüpfen an Vorwissen | Zu Beginn bietet sich ein kurzes Anknüpfen an Vorwissen zum Klimawandel (z. B. aus Lerneinheiten in anderen Fächern) an. |
| Einstieg | Kurzfilm „Klimawandel – Inseln gehen unter“ des ZDF (http://www.klimawandel-schule.de/fw_inseln) → <i>Kommentare und Fragen der Schülerinnen und Schüler?</i> Vorstellung der Republik Kiribati und der Hauptstadt South Tarawa anhand von Satellitenaufnahmen (s. Materialpool unter https://klimawandel-schule.de/sekundarstufe1/anstieg_meeresspiegel/). Die Hauptstadt mit ihren 56 000 Einwohnern liegt 3 m über dem Meeresspiegel und damit höher als der Großteil der Republik. → <i>Sammlung an der Tafel: „Nennt mögliche konkrete Bedrohungen, welchen die Republik Kiribati durch den Klimawandel konkret ausgesetzt ist.“</i> „Die Ursachen und Folgen der direktesten Gefahr – dem Anstieg des Meeresspiegels – werden nun anhand dreier Stationen genauer untersucht.“ |
| Erarbeitung | Kurze Vorstellung der Stationen und Arbeit an den Stationen in Kleingruppen. |
| Abschluss | „Verknüpft jeweils ein Ergebnis einer Experimentierstation mit einem Gegenstück in der Realität.“ → <i>Im Plenum: Zusammenfassung der Experimente und der realen Kontexte; Diskussion der Ergebnisse</i> Wichtig: Um kein Ohnmachtsgefühl angesichts der Bedrohung durch den Klimawandel aufkommen zu lassen, sollte an dieser Stelle bereits eine Lerneinheit zu konkreten Handlungsmöglichkeiten angekündigt werden werden wird. Ideen hierzu sind auf http://www.klimawandel-schule.de zu finden! |

Tab. 1 | Verlaufsskizze des Unterrichts

und handeln“ (s. **Kasten 1** und <https://klimawandel-schule.de/>) entwickelt.

Station 1: Ursachen für den Anstieg des Meeresspiegels

Die thermische Expansion von Wasser kann in einem der Experimente dieser Station direkt beobachtet werden (s. **Abb. 4**). Die Hand genügt hier als Wärmequelle, um den Effekt mit einen wassergefüllten Erlenmeyerkolben (ohne Lufteinschluss) und einem Steigrohr zu erzielen.

Zeitgleich wird in zwei weiteren Experimenten der Fehlvorstellung begegnet, dass auch abschmelzendes Meereis den Meeresspiegel steigen lässt. Hierzu werden in zwei Bechergläser Eiswürfel gegeben: Im ersten Glas beispielsweise

auf zwei Kieselsteine, die den festen Untergrund darstellen, im anderen Glas schwimmen die Eiswürfel in Wasser (im Bild in **Abb. 4** blau eingefärbte Eiswürfel).

Station 2: Wenn das Eis auf Grönland schmilzt

Der Beitrag zum Anstieg des Meeresspiegels des abschmelzenden Eisschildes auf Grönland kann mithilfe frei zugänglicher Daten der NASA und des DLR³⁾ sowie einer Abschätzung der Fläche Grönlands mithilfe einer Landkarte relativ leicht abgeschätzt werden (s. **Abb. 5**). Das Ergebnis liegt erstaunlich nahe am Wert des IPCC.

Um die Folgen eines Anstiegs des Meeresspiegels greifbarer zu machen, diskutieren die Schülerinnen und Schü-

ler im Anschluss anhand einer Quelle über die Herausforderungen eines der am stärksten betroffenen Staaten, den Südseestaat Kiribati.

Station 3: Wenn das Eis in der Arktis schmilzt

Dass abschmelzendes Meereis zwar nicht zum Anstieg des Meeresspiegels beiträgt, konnte in **Station 1** beobachtet werden. Mit dem Experiment dieser Station (s. **Abb. 6**) wird gezeigt, dass aber auch dies nicht ohne Folgen bleibt, da freiwerdende dunkle Gesteinsflächen die Sonnenstrahlung stärker absorbieren als relativ helle Eisflächen (Eis-Albedo-Rückkopplung). Dies ist einer der Gründe, warum die globale Erwärmung an den Polen besonders stark ausgeprägt ist.

Abb. 3: Foto: Christoph Hohmann, LMU München



1 Ursachen für Anstieg des Meeresspiegels

Experiment: Schmelzendes Eis

- ✓ Legt zwei flache Kieselsteine in eines der Bechergläser und gebt dann jeweils mindestens einen Eiswürfel in beide Bechergläser.
- ✓ Füllt das Becherglas mit den Steinen mit warmem Wasser soweit auf, dass nur der erste Stein unter Wasser ist und das andere, bis das Eis schwimmt.
- ✓ Markiert jeweils zügig den Wasserstand mit dem wasserlöslichen Filzstift! Fahrt mit dem nächsten Experiment fort.



Experiment: Erwärmung der Ozeane

- ✓ Fülle den Erlenmeyer-Kolben mit Wasser und verschließe ihn mit Gummistopfen und Glasrohr, sodass das Wasser im Rohr ca. bis zur Hälfte steht und sich keine Luftblasen bilden (evtl. einige Versuche nötig).
- ✓ Markiere den Pegel mit dem wasserlöslichen Filzstift und erwärme das Wasser im Kolben mit deinen Händen.
- ✓ Beobachte während der nächsten Minuten den Wasserstand in allen drei Gefäßen und lest währenddessen den **Hintergrundtext** zur Station.



Auswertung:

- ✓ Berechnet mit Hilfe des Hintergrundtextes zur Anomalie des Wassers das Volumen eines Eisbergs, dessen Schmelzwasser ein gedachtes „Loch im Meer“ mit dem Volumen 1000 Liter genau auffüllen würde. [Tipp: Dreisatz]
- ✓ Wertet nun die drei Experimente aus (das Eis muss nicht komplett geschmolzen sein) und beantwortet die Frage: Welche Ursachen hat der Anstieg des Meeresspiegels?

Aufräumen:

- ✓ Räumt auf und verlässt die Station ordentlich!

2 Wenn das Eis auf Grönland schmilzt

Mit dem deutsch-amerikanischen GRACE-Doppelsatelliten können Veränderungen der Gravitationskraft der Erde bestimmt werden. Aus den gewonnenen Daten kann so unter anderem auf eine Verringerung der Landmasse Grönlands geschlossen werden, die auf die abschmelzenden Gletscher zurückzuführen ist (siehe Diagramm 1).

1. Auf der Erde sind 361 Millionen km² von Wasser bedeckt. Schätzt durch Rechnung ab, wie sehr das aktuell abschmelzende Inlandeis Grönlands zum Anstieg des durchschnittlichen Meeresspiegels pro Jahr beiträgt. *Beachtet die ausliegenden Tipps!*




Diagramm 1 - Abnahme der Masse Grönlands
(Quelle: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/am/07.01.2021/>)

2. Ca. 80% der Fläche Grönlands ist mit einer im Durchschnitt 1673 m dicken Eisschicht bedeckt. Schätzt mithilfe des Maßstabs in Abbildung 1 die Fläche Grönlands ab (zerlegt die Fläche hierzu z.B. grob in Dreiecke) und berechnet dann damit dann das Volumen des grönländischen Eisschildes.

3. Berechnet dann, wie stark der Meeresspiegel steigen würde, wenn das komplette Eis Grönlands abschmelzen würde. ($\rho_{\text{Wasser}} = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$; $\rho_{\text{Eis}} = 0,92 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$)

4. Verstärkt durch die Zunahme von Extremwetterereignissen wie Sturmfluten durch den Klimawandel, hat der Anstieg des Meeresspiegels auch heute schon verheerende Auswirkungen. Lest den **Hintergrundtext** zur Station sowie den **Artikel zum Südseestaat Kiribati** und diskutiert kurz darüber.

4 | Station 1 mit Experimenten zu den Ursachen für den Anstieg des Meeresspiegels

5 | Station 2 zur Auswirkung des abschmelzenden Grönlandeises

Methodische Hinweise zu den Experimentierstationen

- **Station 1:** Das Schmelzen der Eiswürfel kann durch einem Halogenstrahler (wie bei **Station 3** verwendet) beschleunigt werden.
- **Station 2:** Die anzustellenden Berechnungen sind erfahrungsgemäß für Schülerinnen und Schülern vorerst herausfordernd. Die **Tipp-Karte** in den Materialien kann eine Denkrichtung vorgeben, sodass der Einstieg erleichtert wird.
- **Station 3:** Der Strahler wird sehr heiß – die Schülerinnen und Schüler unbedingt auf einen vorsichtigen Umgang hinweisen!

Einbindung in ein fächerübergreifendes Projekt

Das Besondere an unserem fächerübergreifenden Projekt ist, dass es in einer Schulklasse über ein komplettes Schuljahr hinweg durchgeführt wird.

Idee und Ziele

- Verschiedene Lehrkräfte unterschiedlicher Fächer liefern den Lernenden vielfältige Blickwinkel

auf das Thema (z. B. *Geographie:* „Ursachen und Folgen der Verschiebung der Klimazonen“; *Ethik und Religion:* „Ideal und Realität des Umgangs des Menschen mit seiner Mitwelt“; *Sozialkunde/Politik:* „Wie kann man auch als Schülerin oder Schüler Politik mitgestalten?“; *Kunst:* „Künstlerische Darstellung der Treibhausgasemissionen bzw. der Temperaturanomlien (s. z. B. Antti Lipponen)“; *Deutsch:* „Argumentationsstrukturen von Klimaskeptikern unter der Lupe“; *Englisch:* „Effective actions in the climate south“).

- Durch die immer wiederkehrende Verknüpfung von Unterrichtsinhalten mit dem Gesamtkontext Klimawandel in verschiedenen Fächern formt sich in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler nach und nach ein Gesamtbild, das der Komplexität des Themas gerecht wird.
- Die Abfolge der Durchführung der Lerneinheiten in den verschiedenen Fächern muss nicht aufeinander abgestimmt sein und engt daher nicht ein.
- Der Umfang der Lerneinheiten ist beliebig und kann von einer kontextualisierten Aufgabe in Mathematik oder

einem einzelnen Sachtext in Deutsch bis hin zu einer Unterrichtssequenz oder einem Kunstprojekt reichen.

Vorgehen

1. Die federführende Lehrkraft versammelt zu Beginn des Schuljahres möglichst alle Lehrkräfte einer Schulklasse für eine Kurzbesprechung (eine Organisation per Mail ist auch möglich). Da die Durchführung fachübergreifender Projekte in den meisten Bundesländern sowieso fest vorgesehen ist, schlägt diese Lehrkraft Thema und Methode vor.⁴⁾
2. Inhalt der Kurzbesprechung:
 - Die Kolleginnen und Kollegen vereinbaren, ihren Unterricht in diesem Schuljahr, wo immer möglich, mit Bezug zum Klimawandel zu kontextualisieren.
 - Drei Aspekte können der Strukturierung und Ideenfindung dienen und sollten sinnvollerweise insgesamt auch abgedeckt werden:
 1. wissenschaftliche Hintergründe und Ursachen des Klimawandels,
 2. Folgen des Klimawandels auf regionaler und internationaler Ebene,

3 Wenn das Eis in der Arktis schmilzt

Experiment:

- Die beiden Thermometer werden jeweils in die gefalteten Papierkörper gesteckt. Der eine stellt das Gestein unter einer geschmolzenen Eisfläche dar, der zweite eine intakte Eisfläche. Beide Testkörper werden so mit Stativen unter dem Strahler platziert, dass sie mit gleicher Intensität bestrahlt werden.
- Übernimmt die Messtabelle eure Hefte und dokumentiert die gemessene Temperatur der beiden Papierkörper alle 30 Sekunden, nachdem ihr den Strahler einschaltet.

Achtung: Verbrennungsgefahr!

| Zeit in s | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 | 390 |
|-------------------------|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temperatur dunkel in °C | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatur hell in °C | | | | | | | | | | | | | | |

Auswertung:

- Stellt die Ergebnisse grafisch in einem Diagramm in euren Hefen dar. Verwendet dabei unterschiedliche Farben.

- Studiert den **Hintergrundtext zur Station** und diskutiert dann, warum das Abschmelzen von Eis in der Arktis die Eisschmelze immer weiter verstärkt.
- Bewertet mithilfe des **Zeitungsartikels** aus BR Wissen, die Folgen des Klimawandels auf die in der Arktis lebenden Eisbären.

6 | Station 3 zu den Auswirkungen abschmelzenden Meereises

3. mögliche Handlungsansätze und konkretes Handeln auf verschiedenen Ebenen.

- Besprechung erster Ideen und Vereinbarung, binnen zwei Wochen Themengebiete aus dem Lehr- bzw. Bildungsplan herauszusuchen, die sich für die Durchführung anbieten, und erste grobe Ideen zu den Inhalten an die federführende Lehrkraft zu schicken.⁶⁾
- Eine zeitliche Sequenzierung im Sinne von „erst Modul A in Deutsch, dann Modul B in Geographie“ ist möglich, aber mit Aufwand verbunden und nicht notwendig.

3. Auftaktstunde der federführenden Lehrkraft zu Beginn des Schuljahres mit anschließender Info-Mail an die Kolleginnen und Kollegen inkl. Zusammenfassung der ersten Ideen (s. Punkt 2).

4. Über das Schuljahr: Flexible Durchführung der Unterrichtsmodule in den verschiedenen Fächern. Regelmäßiges Abfragen und Zusammenfassen durch die federführende Lehrkraft in Form einer Rundmail (z. B. jeweils nach den Ferien).

5. Eine Zusammenführung zum Ende des Schuljahres, z. B. im Rahmen von Projekttagen, kann sehr gewinnbringend sein, ist aber auch nicht zwingend notwendig.

Erfahrungen und Tipps

- Die Organisation und Durchführung dieses Projektes erfordert keinen großen Zusatzaufwand!
- Das Rahmenthema Klimawandel sollte nicht zu weit interpretiert werden (also z. B. nicht als BNE im Allgemeinen), da sonst der Wiedererkennungseffekt für die Schülerinnen und Schüler verloren geht.
- Um die Wiedererkennung und Vernetzung der Inhalte zu fördern, bietet sich zu Beginn einer Lerneinheit eine kurze Besprechung der in den anderen Fächern bislang erarbeiteten Inhalte an.
- Die Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen in diesem Rahmen hat sich als äußerst gewinnbringend und bereichernd herausgestellt; die verschiedenen Blickwinkel von Personen mit unterschiedlichem fachlichem Hintergrund sorgen für absolut interessante Aspekte und Anstöße.

- Damit das Projekt im Unterrichtsalltag nicht untergeht, kann die regelmäßige Erinnerungs-Rundmail auch zur Motivierung genutzt werden – beispielsweise durch einen Hinweis zu einer Dokumentation oder einem aktuellen Artikel zum Thema.

Viel Erfolg!

Anmerkungen

- Das Rahmenthema Klimawandel des Projektes zeigt deutlich, dass Natur und Umwelt sich nicht an Fächergrenzen halten. Daher an dieser Stelle der Aufruf, diese so weich wie möglich zu zeichnen und aktiv nach Verbindungen und Vernetzungsmöglichkeiten zu suchen.
- RCP steht für „Representative Concentration Pathways“. Im Szenario 8.5 wird bis zum Jahr 2100 (im Vergleich zu 1850) mit einem um 8,5 W/m² erhöhten Strahlungsantrieb durch Rückstrahlung aus der Atmosphäre gerechnet.
- Die GRACE-Zwillingssatelliten (Gravity Recovery and Climate Experiment), eine Mission der NASA gemeinsam mit dem DLR, messen Veränderungen im Gravitationsfeld der Erde und so kann auf abschmelzendes Eis geschlossen werden. Daten zu Grönland: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/> [16.7.2021].
- Eine Vorlage zu einem möglichen Anschreiben an die Kolleginnen und Kollegen findet sich in der Materialsammlung: https://klimawandel-schule.de/sekundarstufe1/projekt_klimawandel/.
- Also z. B.: „Fachübergreifendes Projekt „Klimawandel: verstehen und handeln“ in der Klasse 9b im Schuljahr 2021/22“
- Fachliche Hintergründe und Impulse bietet das Handbuch Klimawandel auf <http://www.klimawandel-schule.de> [31.5.2021]. Hier ist zudem eine fachübergreifende Materialsammlung zu finden.

Literatur

[1] IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (Hrsg.: Pörtner, H.-O.; Roberts, D.C.; Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Tignor, M.; Poloczanska, E.; Mintenbeck, K.; Alegría, A.; Nicolai, M.; Okem, A.; Petzold, J.; Rama, B.; Weyer, N.M.). In press. – <http://www.ipcc.ch/srocc> [10.07.2021]