

**DER OZEAN UND DIE KRYOSPHÄRE
IN EINEM SICH WANDELNDEN KLIMA
ZUSAMMENFASSUNG FÜR
LEHRERINNEN UND LEHRER**

AUF GRUNDLAGE DES IPCC-SONDERBERICHTES ÜBER DEN OZEAN
UND DIE KRYOSPHÄRE IN EINEM SICH WANDELNDEN KLIMA (SROCC)

Koordinatorin

Lydie Lescarmontier (Office for Climate Education – OCE, Frankreich)

Autoren

Éric Guilyardi (Institut Pierre Simon Laplace, Frankreich), Lydie Lescarmontier (OCE, Frankreich), Robin Matthews (IPCC Working Group I Technical Support Unit, Frankreich), Nathalie Morata (OCE, Frankreich), Mariana Rocha (OCE, Frankreich), Jenny Schlüpmann (Freie Universität Berlin, Deutschland), Mathilde Tricoire (OCE, Frankreich), David Wilgenbus (OCE, Frankreich)

Lektorat

Simon Klein (OCE, Frankreich), Maria A. Martin (Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Deutschland), Anwar Bhai Rumjaun (Mauritius Institute of Education, Mauritius), Gabrielle Zimmermann (*La main à la pâte*, Frankreich)

Veröffentlichung

Juli 2020

Übersetzung

Sarah Rincet (OCE, Frankreich)

Danksagung

Experten, die das OCE unterstützen: Juan Carlos Andrade, Laurent Bopp, Badin Borde, Éric Brun, Caroline Côté, Sanny Djohan, Randy Fananta, Serge Janicot, Jean Jouzel, Pierre Léna, Claudia Martinez, Valérie Masson-Delmotte, Cliona Murphy, Natalie Nicetto, Anna Pirani, Jean-Baptiste Sallée, Pramod Kumar Sharma, Aline Tribollet, Martin Vancoppenolle

Institutionen, die das OCE wissenschaftlich, operativ und finanziell unterstützen: Technical Support Unit of IPCC Working Group I, Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), la Fondation La main à la pâte, la Fondation Luciole, Météo-France, l'Association Météo et Climat, la Fondation Prince Albert II de Monaco, Siemens Stiftung, Sorbonne Universität, UNESCO, ADEME, CASDEN

Fotos

Jake Hawkes (Titelbild), Quang Nguyen Vinh (Seite 7), Riccardo Maccarini (Seite 9), Chrissy from Chicago (Seite 11), Natalia Kollegowa (Seite 14), Benjamin Jones (Seite 24), Stekirr (Seite 25), Bishnu Sarangi (Seite 28), Canislupus (Seite 29), Daniil Vnoutchkov (Seite 31), AkshayaPatra Foundation (Seite 34)

Bildgestaltung

Mareva Sacoun (mareva.sacoun@gmail.com)

Anpassung auf Deutsch

Bruno Marie (insularis@me.com)

Lizenz

Dieses Material (mit Ausnahme der Fotos) wurde unter der folgenden Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht. Unter Ausschluss gewerblicher Zwecke ist es für eine Weitergabe, Nutzung und Anpassung frei verfügbar.



ZUSAMMENFASSUNG FÜR LEHRERINNEN UND LEHRER

Der Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima

**DIE ENTSCHEIDUNGEN, DIE WIR HEUTE TREFFEN,
BESTIMMEN ÜBER DIE ZUKUNFT DES OZEANS UND
DER KRYOSPHÄRE (IPCC).**

Der Ozean und die Krysphäre sind für uns lebensnotwendig.

Der Ozean und die Kryosphäre stehen unter Druck.

Die Veränderungen von Ozean und Kryosphäre wirken sich auf
unser aller Leben aus.

Die Zeit zu Handeln ist jetzt.



Inhaltsverzeichnis



Einleitung.....	6
1. Was ist der IPCC und wozu eine Zusammenfassung für Lehrerinnen und Lehrer?.....	8
2. Der Ozean und die Kryosphäre.....	10
3. Beobachtete und projizierte Auswirkungen.....	14
4. Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz von Ozean und Kryosphäre.....	27
Zum Schluss.....	31
Glossar.....	32
Bibliografie.....	34

Einleitung

INDUSTRIELLE REVOLUTION

Im 18. Jahrhundert begann in Großbritannien die Industrielle Revolution. Sie führte zu den tiefgreifendsten Veränderungen in der Geschichte der Menschheit und prägt bis heute unser Leben. In der Zeit der industriellen Revolution führten in Europa und den Vereinigten Staaten Fortschritte in Wissenschaft und Technologie zu einer raschen Entwicklung der Industrie, des Transportwesens und der Landwirtschaft.

Gleichzeitig stieg, wegen des medizinischen Fortschritts und der Verbesserung der Hygiene, die Anzahl der Erdbe-wohner. Die industrielle Revolution brachte mehrere Ver-änderungen mit sich: Die Menschen zogen vom Land in die Städte, wechselten von der Feldarbeit zur Fabrikarbeit, und Maschinen, die mit fossilen Brennstoffen betrieben wurden, ersetzten die Zugkraft der Tiere. All diese Entwick-lungen führten zu einem rapiden Anstieg des Verbrauchs fossiler Brennstoffe und folglich zu erheblichen Treibhaus-gasemissionen.

WIE VERÄNDERN WIR DAS KLIMA DER ERDE?

Treibhausgase (insbesondere Wasserdampf, Kohlenstoff-dioxid, Methan, Lachgas und Ozon), die durch mensche-liche Aktivitäten freigesetzt werden, wirken sich direkt auf den globalen Temperaturanstieg. Man spricht von anthro-pogenem (menschengemachtem) **Treibhauseffekt**.

Die Treibhausgasemissionen, die seit dem Anfang der in-dustriellen Revolution durch menschliche Aktivitäten er-zeugt wurden, haben zu der aktuellen globalen Erderwärmung von rund 1,0°C geführt¹. Sollte sich dies mit dem gegenwärtigen Tempo fortsetzen, werden wir aller Wahr-scheinlichkeit nach zwischen 2030 und 2052 eine Erder-wärmung von 1,5°C erreichen – d. h. einen zusätzlichen Anstieg von 0,5°C gegenüber dem heutigen Wert.

Der Treibhauseffekt – kurz zusammengefasst: Die Son-nenstrahlung durchquert das Weltall und trifft auf die Erde und ihre Atmosphäre. Ein Teil der Sonnenstrahlung wird an der Atmosphäre reflektiert und gelangt wieder ins Weltall. Der Rest passiert die Atmosphäre und erreicht die Erd-oberfläche. Die Erdoberfläche erwärmt sich und emittiert Infrarotstrahlung (Wärme) in die Atmosphäre. Ein Teil die-ser Wärme wird auf dem Weg ins Weltall von Treibhausga-sen in der Atmosphäre absorbiert und zur Erdoberfläche zurückgeschickt. Treibhausgase verhalten sich wie eine Art „Decke“, die die Wärme einschließt. Dadurch ist die

Temperatur der unteren Atmosphäre höher, als sie ohne den Treibhauseffekt wäre.

Die durchschnittliche Temperatur an der Erdoberfläche läge ohne den Treibhauseffekt bei etwa –18°C anstatt der tatsächlichen durchschnittlichen +15°C.

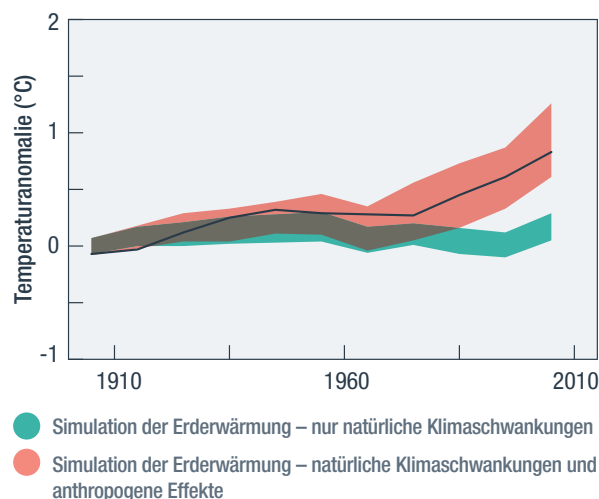


ABBILDUNG 1 Vergleich der beobachteten Erderwärmung (schwarze Linie) mit der Simulation der Erderwärmung unter Berücksichtigung natürlicher Klimaschwankungen (türkise Linie) bzw. unter Berücksichtigung sowohl natürlicher als auch anthropogener Effekte (rosa Linie). Die beobachtete Erwärmung kann nur erklärt werden, wenn man die anthropogenen Effekte (d. h. Treibhausgasemissionen) mit einbezieht.

Basierend auf dem 5. Sachstandsbericht des IPCC, Abb. SPM.06 – https://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/sites/default/files/AR5_SYR_Figure_1.10.png

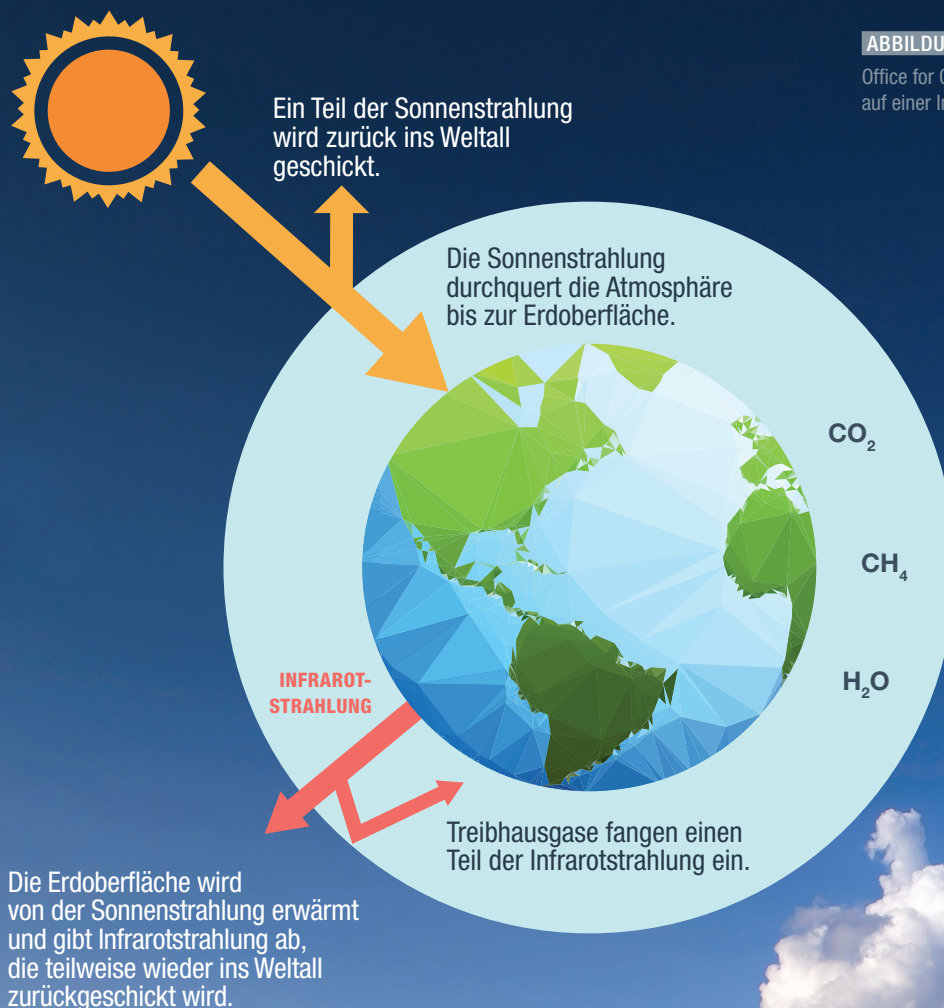
FÜR DEN SCHULUNTERRICHT #FRAGEN

- Suche ein Diagramm im Internet, das zeigt, dass seit der industriellen Revolution die globale mittlere Oberflächentemperatur der Erde um etwa 1,0°C angestiegen ist. Überprüfe, dass das Diagramm aus einer verlässlichen Quelle stammt (IPCC, NASA usw.).
- Erläutere anhand von Abb. 1, weshalb man weiß, dass die Menschen die globale Erderwärmung verursachen.
- Recherchiere, welches die wichtigsten Treibhausgase neben Kohlenstoffdioxid sind.
- Recherchiere und erkläre, wie die wichtigsten Treibhausgase entstehen.

¹ IPCC-Sonderbericht: „1,5°C globale Erwärmung“, <http://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>, Abschnitt A.1

ABBILDUNG 2 Der Treibhauseffekt

Office for Climate Education, basierend auf einer Infografik von Lannis.



1. Was ist der IPCC und wozu eine Zusammenfassung für Lehrerinnen und Lehrer?

1988 gründeten die Vereinten Nationen den Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Aufgabe des IPCCs ist es, den aktuellen Stand der Forschung zum Klimawandel zusammenzutragen und zu bewerten. Die Sachstandsberichte des IPCC umfassen beobachtete und zukünftige Auswirkungen des Klimawandels ebenso wie Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel sowie Maßnahmen zum Klimaschutz, d. h. zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Es werden verschiedene Zukunftsszenarien des Klimawandels dargelegt. Diese beruhen auf verschiedenen Szenarien für die Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen (Steigen die Emissionen weiter an? Werden sie schnell reduziert?) sowie auf den damit einhergehenden Risiken für die Menschen und den Planeten.

Die Berichte sind politisch relevant, was bedeutet, dass sie Handlungsoptionen sowie deren Implikationen aufzeigen, **ohne jedoch politisch bindend zu sein:** Sie schreiben politischen Entscheidungsträgern nicht vor, welche Maßnahmen sie zu ergreifen haben. Die IPCC-Sachstandsberichte werden von Hunderten von Wissenschaftlern aus aller Welt verfasst und formell von den Regierungen der 195 Mitgliedsstaaten angenommen. **Die Arbeit des IPCC besteht darin, bestehende wissenschaftliche Veröffentlichungen zusammenzutragen und zu bewerten.** Der IPCC betreibt keine eigene Forschung.

Die vom IPCC veröffentlichten Berichte befassen sich entweder mit spezifischen Themen („Special Reports“) oder ganz allgemein mit dem Klimawandel („Assessment Reports“). Zu jedem IPCC-Bericht gibt es eine Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (SPM, „Summary for Policy Makers“), die kompakter und einfacher zu lesen und zu verstehen ist.

Im Rahmen seines sechsten Bewertungszyklus hat der IPCC bereits drei Sonderberichte herausgebracht:

- *Sonderbericht über 1,5°C globale Erwärmung* (Oktober 2018);
- *Sonderbericht über Klimawandel und Landsysteme* (August 2019);
- *Der Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima* (September 2019).

Diese Berichte richten sich an politische Entscheidungsträger und sind nicht für die Bedürfnisse von Lehrenden geeignet. Artikel 12 des Pariser Klima-Abkommens (COP21, 2015) betont allerdings, dass Bildungssysteme Jugendliche auf den ökologischen Wandel vorbereiten sollte. Um diese Lücke zu füllen, veröffentlicht das Office for Climate Education seit 2018 auf der Grundlage der IPCC-Berichte **Zusammenfassungen für Lehrerinnen und Lehrer**. Das vorliegende Dokument ist eine Zusammenfassung des IPCC-Sonderberichts *Der Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima*. Es enthält eine Reihe von Aktivitäten und Übungen, die im Schulunterricht umgesetzt werden können².

² Eine Zusammenfassung für Lehrerinnen und Lehrer des IPCC-Sonderberichts über 1,5°C globale Erwärmung ist auf der Internetseite des Office for Climate Education auf Englisch, Französisch, Spanisch und Deutsch verfügbar (www.oce.global).

WIE DER IPCC ARBEITET

Der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger müssen sämtliche Mitgliedsstaaten Zeile für Zeile zustimmen. Im Rahmen von Verhandlungen wird festgelegt, wie der Inhalt in der Zusammenfassung dargestellt wird. Die Zusammenfassung kann allerdings unter keinen Umständen den Aussagen des langen Berichtes widersprechen. Die Zustimmung der Mitgliedsstaaten verleiht dem Bericht sein bedeutendes politisches Gewicht.

VORBEREITENDE SITZUNG

Von den Regierungen ernannte Expertinnen und Experten sowie Beobachterorganisationen des IPCC legen die Schlüsselthemen des Berichtes fest.

VERABSCHIEDUNG DER GROBSTRUKTUR

Der IPCC stimmt den Schlüsselthemen des Berichtes zu.



ERNENNUNG UND AUSWAHL DER AUTOREN



Regierungen und Beobachterorganisationen ernennen Experten zu Autoren. Der Vorstand wählt die Autoren aus.

ERSTER ENTWURF

Die Autoren erstellen einen ersten Berichtsentwurf, der von Fachgutachtern überprüft wird.



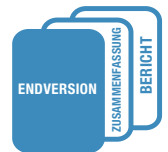
ZWEITER ENTWURF

Der zweite Berichtsentwurf und der erste Entwurf der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger werden den Regierungen und Fachgutachtern zur Prüfung vorgelegt.



ENDFASSUNG

Die Autoren geben die Endfassungen des Berichtes und der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger frei. Beides wird im Anschluss an die Regierungen weitergeleitet.



PRÜFUNG DURCH DIE REGIERUNGEN

Die Regierungen prüfen die Endfassung der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger.



ZUSTIMMUNG UND VERABSCHIEDUNG DES BERICHTES



Der IPCC stimmt der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger zu und verabschiedet den Bericht.

VERÖFFENTLICHUNG DES BERICHTES

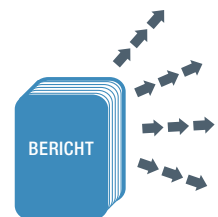


ABBILDUNG 3 Die Funktionsweise des IPCC

Siehe auch <https://www.de-ipcc.de/226.php>

2. Der Ozean und die Kryosphäre

Geografie des Ozeans und der Kryosphäre

Der Ozean bedeckt rund 70% der Erdoberfläche und enthält ungefähr 97% des Wassers der Erde. Es wird sogar manchmal vorgeschlagen, unseren Planeten Ozean anstatt Erde zu nennen. Es gibt fünf große Ozeane: der Arktische, der Südliche, der Atlantische, der Pazifische und der Indische Ozean. Die Oberfläche des Ozeans mag homogen erscheinen, seine Temperatur, sein Salzgehalt, seine Farbe sowie seine Ökosysteme weisen jedoch geografische Unterschiede auf.

Die **Kryosphäre** (sie umfasst das gesamte gefrorene Wasser) bedeckt ebenfalls einen weiten Teil der Erde. **Der Antarktische und der Grönländische Eisschild bedecken allein rund 3% der Erdoberfläche. Dazu kommen die knapp 200 000 Gletscher weltweit**, einschließlich jener, die sich in den Tropengebieten in großer Höhe befinden (wo es trotz des tropischen Klimas kalt ist). Weniger bekannt ist, dass **Permafrost** (dauerhaft gefrorener Boden) rund ein Viertel des Festlandes der Nordhalbkugel bedeckt.

Manche Komponenten der Kryosphäre unterliegen jahreszeitlich bedingten Schwankungen. So ist zum Beispiel rund ein Drittel des Festlandes der Nordhalbkugel jeden Winter mit Schnee bedeckt („jahreszeitlich bedingter Schnee“), während sich das Meereis jeden Winter in der Arktis und Antarktis ausbreitet und jeden Sommer zurückzieht.

Der Mensch sowie die Tier- und Pflanzenwelt leben im Einklang mit den Ozeanen und der Kryosphäre. Zahlreiche Megastädte dieser Welt befinden sich in Küstenregionen. Im Jahr 2010 lebten ungefähr 28% der Weltbevölkerung weniger als 100 Kilometer von der Küste entfernt und unter 100 Meter über dem Meeresspiegel. Rund 10% der Weltbevölkerung sind in Hochgebirgsregionen angesiedelt, und 4 Millionen Menschen leben in der Arktis. Im Gegensatz zur Arktis wird die von einem internationalen Vertrag geschützte Antarktis lediglich von Wissenschaftlern, Forschungsreisenden und Touristen besucht. Dauerhafte Einwohner gibt es dort nicht³.

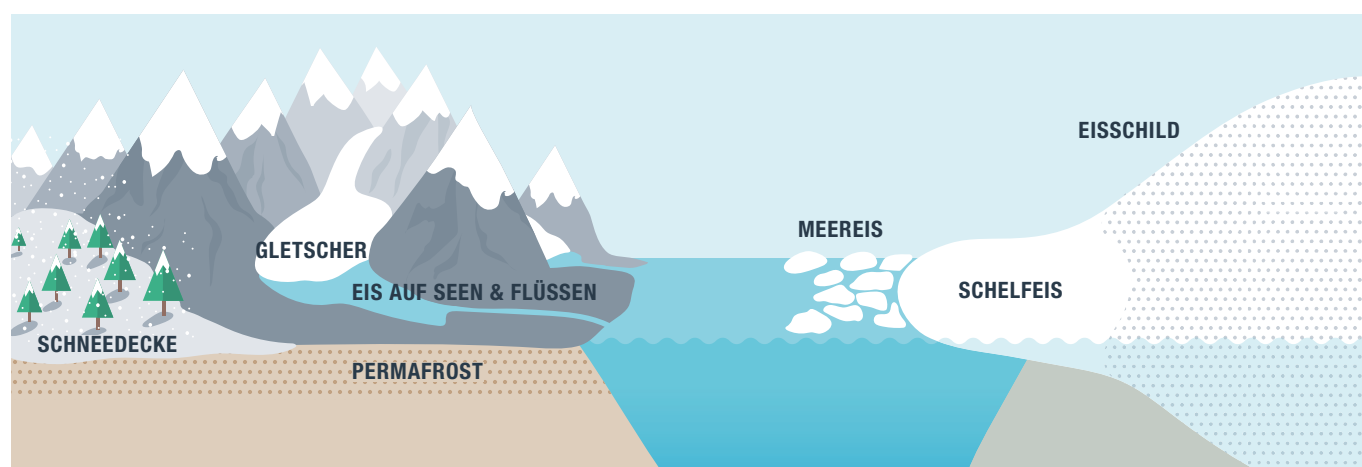


ABBILDUNG 4 Die Bestandteile der Kryosphäre der Erde

Nach Abb. 4.25 der Arbeitsgruppe WG1 des IPCC, 5. Sachstandsbericht (2013) – https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/Fig4-25_errata-1.jpg

3 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/12/SROCC_FullReport_FINAL.pdf, Startup Box, S. 5

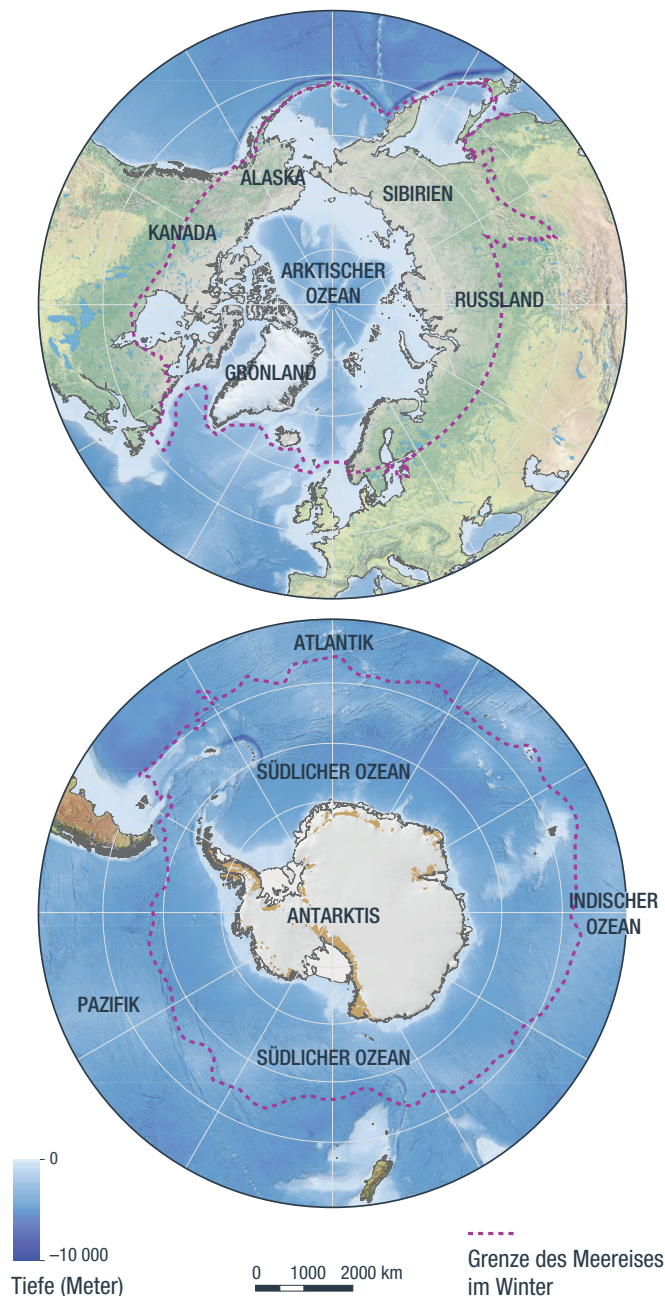


ABBILDUNG 5 Die Polarregionen: Arktis (oben) und Antarktis (unten). Die gepunkteten Linien kennzeichnen näherungsweise die Grenzen der Polarregionen. Zu beachten ist, dass sich die Arktis in einem von Land umgebenen Ozean befindet. Im Gegensatz dazu ist die Antarktis eine von Wasser umschlossene Landfläche. Die Antarktis ist nahezu vollständig mit Eis bedeckt (Antarktischer Eisschild). In der Arktis gibt es den Grönländischen Eisschild.

Nach SROCC, Kapitel 3, IPCC 2019 – http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/07_SROCC_Ch03_FINAL.pdf

- Finde auf einer Weltkarte folgende geografische Einheiten: Nordpol, Südpol, Atlantischer Ozean, Pazifischer Ozean, Indischer Ozean, Meereis der Arktis, Meereis der Antarktis, Grönländischer Eisschild, Antarktischer Eisschild. Welche dieser Einheiten sind Teil des Ozeans und welche sind Teil der Kryosphäre?
- Recherchiere: Wie groß sind die von diesen geografischen Einheiten bedeckten Flächen? Vergleiche sie mit der Landoberfläche der Erde.
- Was ist die Kryosphäre? Suche Informationen zur Etymologie des Wortes Kryosphäre.
- Was ist Permafrost? Wie entsteht er?
- Benenne die verschiedenen Arten von Kontinentaleis (Eis auf Land).
- Suche Informationen über die Entstehung von Meereis. Enthält Meereis mehr oder weniger Salz als Meerwasser? Wie hoch ist der Salzgehalt (auch Salinität genannt) des Antarktischen Eisschildes bzw. des Grönländischen Eisschildes?
- Erkläre, warum unser Planet manchmal der „blaue Planet“ genannt wird.



Die Bedeutung des Ozeans und der Kryosphäre für die Menschen

Die Ressourcen und Dienstleistungen, die der Ozean und die Kryosphäre uns bieten, lassen sich in verschiedene Ökosystemdienstleistungen einteilen: regulierende, bereitstellende, kulturelle und unterstützende Dienstleistungen.

REGULIERENDE DIENSTLEISTUNGEN

Der Ozean und die Kryosphäre tragen zur Regulierung des globalen Klimas bei. Sie interagieren mit anderen Komponenten des Klimasystems, wie das Festland und die Atmosphäre, durch den ständigen Austausch von Wasser, Energie und Kohlenstoff. Ein Beispiel für eine regulierende Dienstleistung ist der Küstenschutz durch Korallenriffe und Mangrovenwälder.

BEREITSTELLENDEN DIENSTLEISTUNGEN

Der Ozean und die Kryosphäre stellen auch direkte Dienstleistungen bereit: Sie versorgen uns mit Nahrung (Fischen, Algen und Meeresfrüchten), Wasser und Energie. Fische und Meeresfrüchte sind eine wichtige Nahrungsquelle: Sie machen über 50% der tierischen Proteine aus, die in vielen der am wenigsten entwickelten Länder konsumiert werden⁴. Der Ozean liefert außerdem erneuerbare Energie in Form von Wellen- und Gezeitenkraft. Hinzu kommen fossile Energiequellen, wie Erdöl und Erdgas, sowie Mineralien aus dem Meeresboden. Gletscher speisen Flüsse mit Wasser, das als Trinkwasser sowie für die Bewässerung

und für Wasserkraftwerke genutzt wird. Rund 800 Millionen Menschen⁵ sind teilweise auf den Wasserabfluss der Himalaya-Gletscher angewiesen. Eine weitere Dienstleistung ist der Transport. Im Winter stellen gefrorene Flüsse und Seen in der Arktis ein bedeutendes Transportnetzwerk dar, und ein Großteil der Waren wird auf unserem Planeten über den Ozean verschifft.

KULTURELLE DIENSTLEISTUNGEN

Zu den kulturellen Dienstleistungen zählen Dienstleistungen in den Bereichen Fischerei sowie Freizeit und Erholung. Regionale Traditionen und Kulturen sowie religiöse Überzeugungen gehören ebenfalls dazu. In vielen Regionen hängt der Tourismus vom Ozean oder der Kryosphäre ab (zum Beispiel in Skigebieten). In den Tropen beruht die Wirtschaft vieler Inseln auf Schnorchel-, Tauch- und Strandaktivitäten.

UNTERSTÜTZENDE DIENSTLEISTUNGEN

Unterstützende Dienstleistungen unterstützen die drei anderen Dienstleistungsarten. Dazu zählt, neben dem Nährstoffkreislauf und der Bodenbildung, insbesondere die Primärproduktion. Zu den Primärproduzenten gehört zum Beispiel Phytoplankton – das sind mikroskopische einzellige Algen, die an der Basis der meisten marinen Nahrungsnetze stehen und von (meist) mikroskopischen Tieren, dem Zooplankton, gefressen werden.

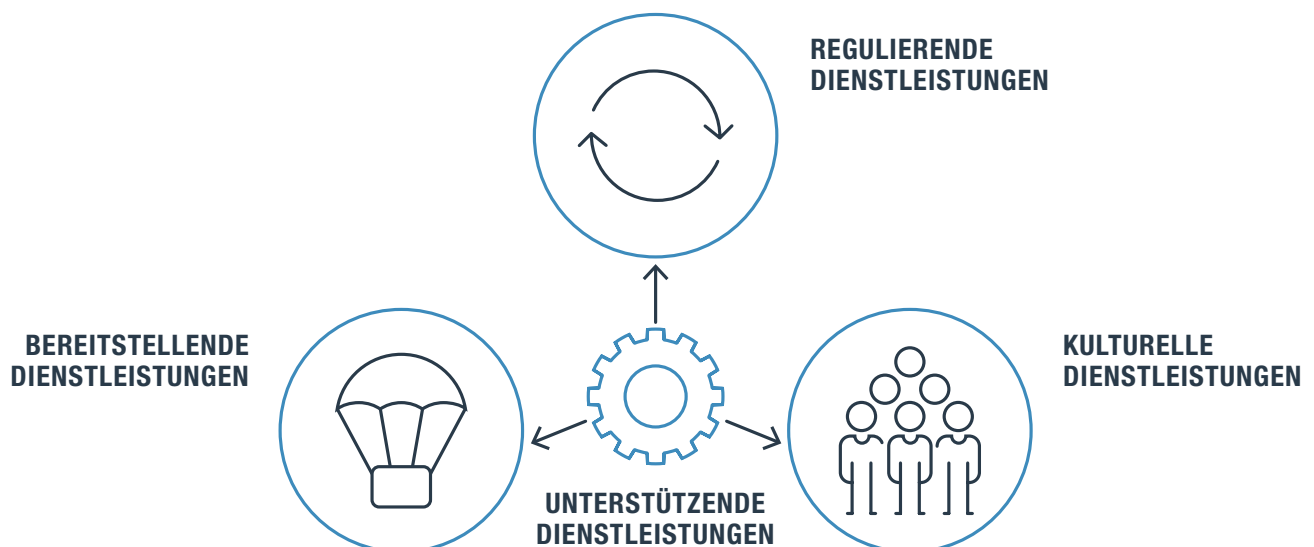


ABBILDUNG 6 Arten von Ökosystemdienstleistungen.

⁴ <http://www.fao.org/fishery/topic/16603/en>

⁵ <https://www.aaas.org/news/spy-satellites-reveal-himalayan-ice-loss-has-doubled-2000>

Biodiversität und Ökosysteme

Wie die unterstützenden Dienstleistungen, zählen auch die Biodiversität sowie deren Netzwerke zu den Ökosystemdienstleistungen, da sie zu einem gut funktionierenden Ökosystem beitragen. Ökosysteme mit hoher Biodiversität sind auch widerstandsfähiger dem Klimawandel gegenüber⁶.

Der Ozean weist eine sehr hohe Biodiversität auf, wobei insbesondere Korallenriffe Biodiversitäts-Hotspots sind. An der Basis der meisten Nahrungsnetze im Meer stehen Phytoplankton und Zooplankton, an deren Spitze Haie und Meeressäuger, wie Seehunde und Wale, von denen einige große Strecken im Ozean zurücklegen. Die Biodiversität ist wichtig für ein funktionierendes Ökosystem, und jedes Ökosystem verfügt über seine eigenen spezifischen Organismen. Unser Wissen über die Biodiversität im Ozean nimmt zwar sehr schnell zu – jedes Jahr werden Tausende neuer Arten entdeckt⁷ –, es ist aber auch begrenzt. Meeresbiologen gehen davon aus, dass Hunderttausende Arten noch unbekannt sind.

6 Epple and Dunning (2014). Ecosystem resilience to climate change: What is it and how can it be addressed in the context of climate change adaptation? UNEP – WCMC

7 World Register of Marine Species – <http://www.marinespecies.org/index.php>

ABBILDUNG 7 Verschiedene marine und Küstenökosysteme



FÜR DEN SCHULUNTERRICHT #AUFGABEN

Überfischung ist eine der Bedrohungen für die marine Artenvielfalt. Eine Alternative zum Fischen könnte die Fischzucht sein. Heutzutage werden genauso viele Fische in Aquakultur aufgezogen, wie in den Meeren wild gefangen werden. In reichen Ländern werden hauptsächlich Thunfisch und Lachs verzehrt. Diese beiden Fischarten sind jedoch fleischfressend und haben einen wesentlichen Nachteil: Ein Zuchtlachs frisst, bis er ausgewachsen ist, zehn Mal sein Körpergewicht an Heringen: 1 kg Lachs „frisst“ 10 kg Hering!

- Rechne aus, wie viel Hering für die Aufzucht von 800 000 Tonnen Lachs benötigt wird (das entspricht den Rekordfangzahlen an Kabeljau im Jahr 1968).
- Nimm an, ein Erwachsener isst täglich (durchschnittlich) 100 Gramm Lachs. Wie viele Erwachsene können mit 800 000 Tonnen Lachs versorgt werden?
- Wie viele Erwachsene hätten mit dem Hering versorgt werden können, der an die Lachse verfüttert wurde?
- Nimm Stellung, ob deiner Meinung nach Fischzucht eine brauchbare Lösung für den Schutz der marinen Artenvielfalt ist.

Die Weltnaturschutzunion (IUCN – International Union for Conservation of Nature) überwacht die Zahl der weltweit bedrohten Arten. Sie aktualisiert und veröffentlicht regelmäßig die Rote Liste gefährdeter Arten.

- Suche nach den Definitionen der verschiedenen Kategorien der Roten Liste – von „ausgestorben“ bis „nicht gefährdet“.
- Gehe auf die Seite www.iucnredlist.org und schaue dir die Liste der erstaunlichen Arten an („amazing species“). Suche dir eine aus, die im oder vom Ozean lebt. Suche nach zusätzlichen Informationen und stelle diese Art in einem kurzen Referat vor. Hebe hervor, inwiefern diese Art für andere marine Arten wichtig ist.

3. Beobachtete und projizierte Auswirkungen

Physikalische Veränderungen

Im SROCC werden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Ozean, auf die Ökosysteme der Küsten-, Polar- und Bergregionen sowie auf die menschlichen Gemeinschaften, die auf sie angewiesen sind, zusammengetragen. Der Bericht befasst sich mit der Vulnerabilität der Ökosysteme und der Menschen. Es werden Anpassungsoptionen bewertet sowie Möglichkeiten zur Erreichung einer das Klima schützenden Entwicklung der Treibhausgasemissionen.

Die im SROCC vorgestellten Klimaprojektionen beinhalten zwei Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen: die Emissionspfade **RCP2.6** und **RCP8.5**. RCP steht für „Representative Concentration Pathways“. Im RCP2.6 wird davon ausgegangen, dass die Treibhausgasemissionen infolge drastischer Maßnahmen zurückgehen. In diesem Szenario bleibt die Erderwärmung bis 2100 unter 2,5°C (2018 lag die Erderwärmung bereits bei etwa 1°C!). Im RCP8.5 wird dagegen davon ausgegangen, dass die Treibhausgasemissionen im Laufe des 21. Jahrhunderts rasch ansteigen und zu einer Erderwärmung von etwa 4°C führen.

Im Folgenden werden die Emissionspfade RCP2.6 und RCP8.5 jeweils als „Szenario mit geringen Emissionen“ und „Szenario mit hohen Emissionen“ bezeichnet.

Globale mittlere Oberflächentemperatur

Änderung in Bezug auf den Zeitraum 1968-2005

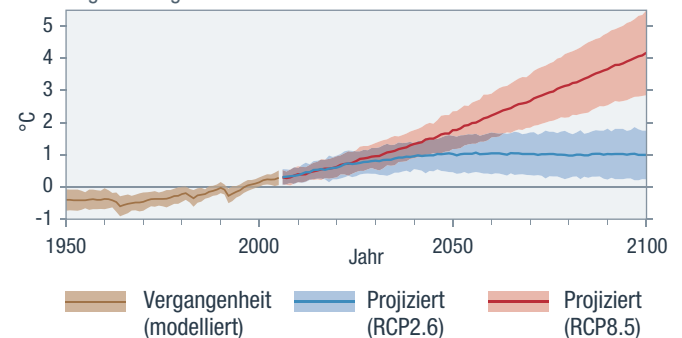


ABBILDUNG 9 Entwicklung der globalen mittleren Oberflächentemperatur in der Vergangenheit und projizierte Veränderung innerhalb der Szenarien RCP2.6 und RCP8.5

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/IPCC-SROCC-TS_3.jpg



RÜCKGANG DER KRYOSPHÄRE

KRYOSPHÄRE AN LAND

Aufgrund des globalen Temperaturanstiegs verlieren auf der ganzen Welt die Eisschilde und Gletscher gegenwärtig an Masse. Dieser Masseverlust wird in Gigatonnen (Gt) gemessen, wobei 1 Gt Eis 1 km³ Schmelzwasser entspricht (also ein Würfel Wasser mit einer Kantenlänge von 1000 Metern).

In der Antarktis ist der Eisverlust vor allen Dingen auf den Rückgang der Gletscher und die Abnahme der Gletscherdicke zurückzuführen. Ursache für den Eisverlust ist, dass das warme Meerwasser zwischen die verschiedenen Schelfeisschichten gelangt (insbesondere im Westen der Antarktis). In Grönland ist die Lufttemperatur höher als in der Antarktis. Die Ursache für den Eisverlust ist dort, dass die Eisoberfläche schmilzt, sobald die Lufttemperatur über 0°C liegt.

Im Zeitraum von 2006 bis 2015 hat der Grönländische Eisschild 278 Gt Eis pro Jahr verloren, und der Antarktische Eisschild 155 Gt Eis pro Jahr. Im Vergleich dazu haben alle Gletscher der Welt zusammengekommen 220 Gt Eis pro Jahr verloren. Dieses Eis, das beim Schmelzen vom Festland ins Meer gelangt, trägt zum Anstieg des Meeresspiegels bei: Der Beitrag des Grönländischen Eisschildes ist 0,77 mm pro Jahr, derjenige des Antarktischen Eisschildes 0,43 mm pro Jahr, und derjenige der Gletscher 0,61 mm pro Jahr.

Für das Szenario RCP2.6 sind zwischen 2015 und 2100 folgende Auswirkungen zu erwarten (siehe Abb. 10):

- Anstieg des Meeresspiegels um 9,4 cm durch eine Verringerung der Gletschermasse um 18%;
- Anstieg des Meeresspiegels um 7 cm durch Eisverlust des Grönländischen Eisschildes;
- Anstieg des Meeresspiegels um 4 cm durch Eisverlust des Antarktischen Eisschildes.

Für das Szenario RCP8.5 sind zwischen 2015 und 2100 folgende Auswirkungen zu erwarten (siehe Abb. 10):

- Anstieg des Meeresspiegels um 20 cm durch eine Verringerung der Gletschermasse um 36%;
- Anstieg des Meeresspiegels um 15 cm durch Eisverlust des Grönländischen Eisschildes;
- Anstieg des Meeresspiegels um 12 cm durch Eisverlust des Antarktischen Eisschildes.

Im RCP8.5-Szenario wird projiziert, dass **Berggletscher** (in Mitteleuropa, Nordasien, Skandinavien, den tropischen Anden und Indonesien) bis 2100 80% ihrer Masse verlieren werden. Es wird auch projiziert, dass viele Gletscher unabhängig vom Szenario (ob geringe oder hohe Emissionen) komplett verschwinden werden. Der Eismasseverlust der Gletscher führt zunächst zu einem Anstieg ihrer Abflüsse. Darauf folgt ein Rückgang der Abflüsse. Es wird erwartet,

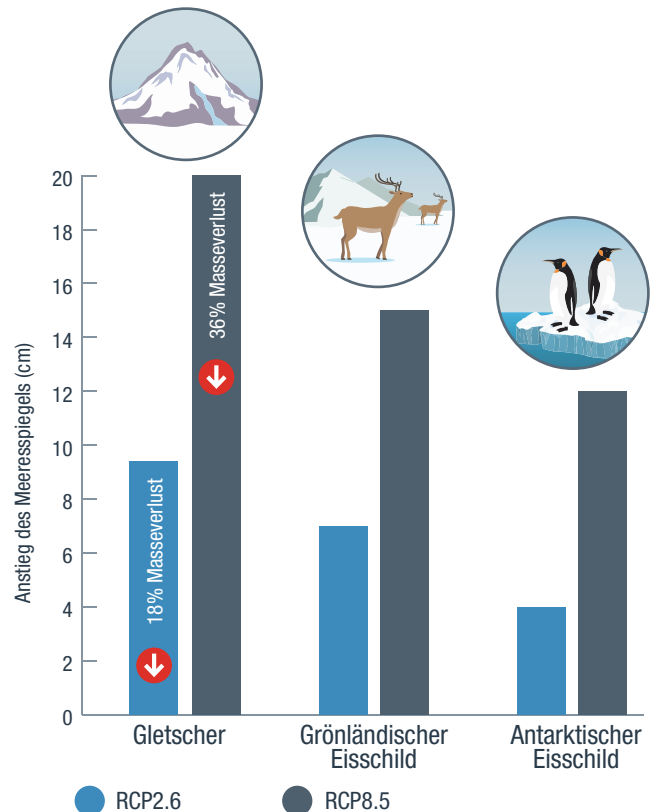


ABBILDUNG 10 Wie die verschiedenen Speicher der Kryosphäre zum Anstieg des Meeresspiegels beitragen – je nach projiziertem Szenario (RCP2.6 oder RCP8.5)

dass die Abflussmenge der Gletscher um 2100 herum, oder kurz vorher, ein Maximum erreichen wird – kleinere Gletscher haben dieses Maximum allerdings bereits erreicht.

Die Erderwärmung wird auch Auswirkungen auf die Hochgebirgsregionen haben: zum Beispiel ein Verlust der Hangstabilität aufgrund des Gletscherrückgangs und des Tauvorgangs der Permafrostböden; oder auch Überschwemmungen aufgrund von Gletschersee-Ausbrüchen sowie Erdbeben und Schneelawinen.

Die Dicke und die Ausdehnung der **Schneedecke** gehen zurück, und auch der Zeitraum, in dem Schnee liegt, wird kürzer. Seit 1967 ist die im Juni von Schnee bedeckte Fläche um rund 13% pro Jahrzehnt kleiner geworden. Der Rückgang der Schneedecke hängt von der Höhe ab: Je höher die Lage, desto tiefer die Temperaturen und desto geringer der Rückgang der Schneedecke.

Im RCP2.6 geht die Schneedecke des arktischen Herbstes und Frühlings bis 2040 um 5-10% zurück (ausgehend vom Niveau der 1990er Jahre), bevor eine Stabilisierung eintritt. Im RCP8.5 geht die Schneedecke des arktischen Herbstes und Frühlings bis 2100 sogar um 20-35% zurück. Im Hochgebirge wird in niedrigen Höhenlagen bis 2090 ein Rückgang der Schneedecke um 10-40% erwartet (RCP2.6) bzw. 50-90% (RCP8.5), bezogen auf das Niveau der 1990er Jahre.

In den **Permafrostböden** (d. h. den Böden, die das ganze Jahr über gefroren sind) ist die Temperatur auf bisher nie dagewesene Werte angestiegen. Sobald Permafrostböden eine Temperatur von 0°C erreichen, beginnen sie aufzutauen. Das größte Problem dabei ist die beim Auftauen auftretende Freisetzung von Kohlenstoffdioxid und Methan. Permafrostböden kommen vor allen Dingen auf der Nordhalbkugel vor (hauptsächlich in Sibirien, Kanada, Alaska und Grönland, aber auch in alpinen Höhenlagen). Permafrostböden bedecken ein Fünftel der Landoberfläche der Erde.

Gegenwärtig sind rund 1460-1600 Gt an organischem Kohlenstoff in Permafrostböden gebunden. Dies entspricht ungefähr zweimal der Menge, die sich derzeit in Form von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre befindet. Es gibt bisher keine einheitlichen Aussagen darüber, ob die derzeitige Erwärmung von Permafrostböden zu einer zusätzlichen Freisetzung von Treibhausgasen in die Atmosphäre führt oder nicht. Das Auftauen von Permafrostböden und der Rückgang der Gletscher haben zu einer Verminderung der Stabilität der Berghänge in Hochgebirgen geführt. (Diese Stabilität wird von gefrorenen Böden und Gletschereis sichergestellt.)

Sowohl in RCP2.6 als auch in RCP8.5 ist mit einer Verringerung der Fläche mit bodennahem Permafrost (Böden, die bis zu einer Tiefe von 3-4 Metern gefroren sind) zu rechnen: Im RCP2.6 wird eine Verringerung der Fläche um 2% bis 66% vorhergesagt, verglichen mit 30% bis 99% im RCP8.5. Aufgrund des Auftauens der Permafrostböden könnten bis 2100 zehn bis Hunderte von Milliarden Tonnen an organischem Kohlenstoff freigesetzt werden (RCP8.5). Das würde den Klimawandel drastisch verschärfen. Interessanterweise dürfte das verstärkte Pflanzenwachstum (das sogenannte *Greening*) auf dem neu zur Verfügung stehenden Boden die Freisetzung von Kohlenstoff teilweise kompensieren.



ABBILDUNG 11 Tauender Permafrostboden in Alaska

NASA/JPL-Caltech – <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4376>

MEEREIS DER ARKTIS

In der Arktis hat die mit Meereis bedeckte Fläche abgenommen. Die minimale Ausdehnung des Meereises wird jedes Jahr im September erreicht, am Ende des Sommers. Anschließend dehnt sich das Meereis wieder aus, bis es im März seine maximale Ausdehnung erreicht. Die Fläche, die zum Zeitpunkt der minimalen Ausdehnung im September von Meereis bedeckt ist, ist in den letzten 40 Jahren um rund 12,8% pro Jahrzehnt geschrumpft, was ungefähr 40% der Gesamtfläche entspricht. Die warmen Winter der Jahre 2016, 2017 und 2018, in denen die Oberflächentemperatur in der zentralen Arktis 6°C über den Normalwerten lag, führten zu einem Rekordminimum der Meereisausdehnung – zu einem Zeitpunkt des Jahres, an dem die Ausdehnung normalerweise maximal ist. Dieser beständige Rückgang der mit Meereis bedeckten Fläche geht einher mit einem Verlust an Meereis von einer Schmelzsaison zur nächsten: Auch das durchschnittliche Alter des Eises geht zurück. Im Gegensatz zum Schmelzen von Eis an Land trägt der Verlust des Meereises nicht zu einem Anstieg des Meeresspiegels bei, da es sich bereits schwimmend im Wasser befindet (wie Eiswürfel in einem Glas Wasser).

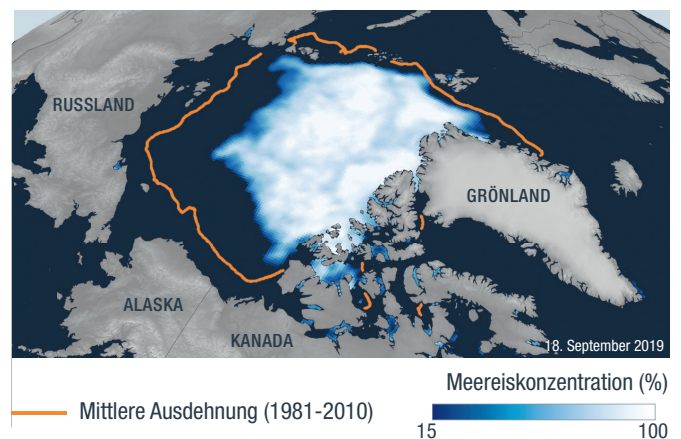


ABBILDUNG 12 Entwicklung der Meereisausdehnung in Arktis

NOAA. Data NSIDC – https://www.climate.gov/sites/default/files/ClimateDashboard_ArcticSealce_minimum_2019_map_large.jpg

Der Verlust von Meereis im Sommer und der Rückgang der Schneedecke im Frühjahr haben die Erwärmung der Arktis verstärkt, einhergehend mit Veränderungen der Feuchtigkeit und der Albedo. Die Lufttemperatur in der Arktis ist in den letzten zwei Jahrzehnten doppelt so schnell angestiegen wie im weltweiten Durchschnitt. Veränderungen des Arktischen Meereises haben das Potential, das Wetter in mittleren Breiten zu beeinflussen.

Und was bedeutet das für die Zukunft? In beiden Emissionsszenarien wird sich der Rückgang des Meereises bis 2050 fortsetzen. Sollte sich die Erderwärmung bei 2°C stabilisieren, wäre die Arktis im September im Schnitt alle drei Jahre eisfrei.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Das Schmelzen der Gletscher und Eisschilde, das Auftauen der Permafrostböden, der Rückgang der Schneedecke und der Meereisausdehnung in der Arktis – all das sind Phänomene, die man beobachten kann und die sich in den nächsten zwei Jahrzehnten fortsetzen werden. Das Tempo, mit dem die Eisschilde Grönlands und der Antarktis Eis verlieren, wird im Laufe des 21. Jahrhunderts weiter ansteigen. Die Ausdehnung des Meereises in der Arktis und das Alter des Eises gehen zurück und tragen so zu einer Verstärkung der Erwärmung der Arktis bei.

Auch wenn die Treibhausgasemissionen schnell sinken, wird sich die Kryosphäre bis 2050 weiter verändern: Naturgefahren in Bergregionen, wie Lawinen und Erdbeben, werden häufiger auftreten und die Abflüsse von Flüssen werden sich verändern.

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT # AUFGABEN

Es gibt Eis, das auf dem Wasser schwimmt (Meereis) und Eis auf dem Festland (Gletscher und Eisschilde). Der Klimawandel führt zum Schmelzen beider Arten von Eis.

— Erkläre, wohin das Schmelzwasser fließt.

Antwort: Das Schmelzwasser des Meereises und der Eisschilde fließt direkt in den Ozean. Das Schmelzwasser der Gletscher fließt zunächst in Flüsse, speist Grundwasserspeicher, Binnengewässer und Seen, bevor es irgendwann ebenfalls in den Ozean gelangt.

— Erkläre, warum das Schmelzwasser von Eis an Land zum Meeresspiegelanstieg beiträgt, das Schmelzwasser von Meereis jedoch nicht. Denke dir ein Experiment aus, um den Unterschied aufzuzeigen, und führe das Experiment durch.

ERWÄRMUNG DES OZEANS UND KOHLENSTOFFAUFNAHME

Seit 1970 hat der Ozean rund 93% der überschüssigen Wärme aufgenommen und gespeichert, die durch die globale Erwärmung erzeugt wurde. Er spielt somit eine Schlüsselrolle bei der Regulierung des Klimasystems. Seit 1993 hat sich das Tempo der Ozeanerwärmung und somit der Wärmeaufnahme mehr als verdoppelt. Am schnellsten steigt die Temperatur an der Ozeanoberfläche – dort nimmt der Ozean die Wärme aus der Atmosphäre auf. Aber auch die tieferen Ozeanschichten werden wärmer. Besonders groß ist der Temperaturanstieg in den oberen zwei Kilometern des Südlichen Ozeans (dem Ozean rund um die Antarktis): In den letzten 50 Jahren hat diese Schicht 35% bis 43% der gesamten durch den Klimawandel erzeugten Wärme aufgenommen.

Als Folge dieser Ozeanerwärmung hat sich in den letzten 40 Jahren die Häufigkeit von marinen Hitzewellen – Perioden mit extrem hoher Ozeanoberflächentemperatur – verdoppelt. Marine Hitzewellen dauern außerdem länger an, sind stärker und betreffen größere Gebiete. Es wird erwartet, dass marine Hitzewellen in Zukunft häufiger vorkommen (am Ende des 21. Jahrhunderts 20 Mal häufiger als heute im RCP2.6 bzw. 50 Mal häufiger im RCP8.5).

Die Erwärmung der Ozeanoberfläche und der Zufluss von Süßwasser aus der Landeisschmelze führen dazu, dass die Dichte des Wassers an der Ozeanoberfläche geringer ist als das Wasser tieferer Schichten. Dieser Anstieg des Dichteunterschieds verhindert eine Vermischung der Wasserschichten, was sich auf den Sauerstoff- und Nährstoffgehalt des Ozeans auswirkt. Dieses Phänomen, bei dem sich die Schichten des Ozeans nicht mischen, wird Dichtestratifikation genannt. Bis 2090 wird für beide Emissionsszenarien, RCP2.6 und RCP8.5, ein Rückgang des Sauerstoffgehalts sowie der Nährstoffe im Ozean erwartet, wobei er für RCP2.6 geringer ausfällt.

Der Ozean ist eine bedeutende Kohlenstoffdioxidsenke:

Seit 1980 hat er 20-30% des durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre freigesetzten Kohlenstoffdioxids aufgenommen.

Wenn sich Kohlenstoffdioxid im Oberflächenwasser des Ozeans auflöst, entsteht Kohlensäure. Das wiederum führt zu einem Anstieg des Säuregehalts des Meerwassers (d. h. der pH-Wert des Meerwassers wird kleiner). Diesen Prozess nennt man Ozeanversauerung. Seit den späten 1980er Jahren ist der pH-Wert des Oberflächenwassers des offenen Ozeans um ungefähr 0,02 Einheiten pro Jahrzehnt kleiner geworden. Dies mag wenig erscheinen, doch auch kleine Veränderungen können große Auswirkungen auf die Ökosysteme haben, wie wir im folgenden Abschnitt sehen werden. Das Ausmaß der Versauerung des Ozeans korreliert direkt mit der Menge des in die Atmosphäre emittierten CO₂. Im RCP8.5 würde die kontinuierliche Aufnahme von CO₂ aus der Atmosphäre bis zum Ende dieses Jahrhunderts zu einer weiteren Verringerung des pH-Wertes des Ozeanwassers um 0,3 pH-Einheiten führen.

Wo bleibt die vom Klimawandel erzeugte Wärme?

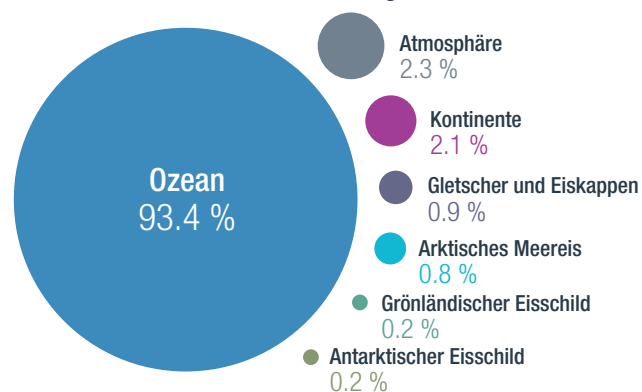


ABBILDUNG 13 Speicherung der überschüssigen Wärme aus der globalen Erderwärmung

<https://skepticalscience.com/Infographic-on-where-global-warming-is-going.html>

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Der Ozean hat über 90% der von der globalen Erwärmung erzeugten Wärme aufgenommen. Nicht nur die Oberfläche wird wärmer, sondern auch tiefere Schichten. Marine Hitzewellen werden stärker und treten häufiger auf. Die Dichtestratifikation in den oberen 200 Metern des Ozeans nimmt zu, so dass der Sauerstoff- und Nährstoffgehalt des Ozeans abnimmt.

Die oberste Schicht des Ozeans nimmt mehr Kohlenstoffdioxid auf, was zur Ozeanversauerung führt.

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT # AUFGABEN

Wie wirkt sich die Ozeanversauerung auf Korallen aus?

- Denke dir ein Experiment aus, das zeigt, wie sich die Aufnahme von Kohlenstoffdioxid auf den pH-Wert von Meerwasser auswirkt. In diesem Experiment musst du Kohlenstoffdioxid ins Meerwasser bringen. Wie kannst du das anstellen? Wie kannst du anschließend die Auswirkung auf den pH-Wert messen?

Antwort: Du kannst zum Beispiel mit einem Strohhalm ins Wasser pusten.

- Recherchiere und erkläre, welche Folgen die Ozeanversauerung auf Korallen und Schalentiere hat.

OZEANISCHE ZYKLEN UND MEERESSTRÖMUNGEN: EL NIÑO UND DIE ATLANTISCHE MERIDIONALE UMWÄLZZIRKULATION

El Niño ist eine ungewöhnliche Erwärmung, die im tropischen Zentral- und Ostpazifik auftritt und erhebliche weltweite Auswirkungen für die Menschen und die Umwelt zur Folge hat. Zu diesen Auswirkungen zählen der Rückgang des Fischfangs entlang der Küste Perus und Chiles sowie extreme Dürren in Indonesien, auf den Philippinen und in Australien. Im Laufe des 21. Jahrhunderts könnten wegen der Erwärmung des Ozeans extreme El-Niño-Ereignisse häufiger auftreten.

Der Klimawandel wird voraussichtlich auch Auswirkungen auf die globale Ozeanzirkulation haben. Die Atlantische Meridionale Umwälzzirkulation (engl.: Atlantic Meridional Overturning Circulation – AMOC), auch als Nordatlantikstrom bezeichnet, ist Teil des weltweiten Systems von Meeresströmungen, durch die Wärme, Kohlenstoff, Sauerstoff und Nährstoffe durch sämtliche Ozeane der Welt transportiert werden. Es wird vorhergesagt, dass sich insbesondere der Nordatlantikstrom im Laufe des 21.

Jahrhunderts abschwächen wird; ein kompletter Zusammenbruch ist allerdings sehr unwahrscheinlich. In einem Szenario mit geringen Treibhausgasemissionen werden die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Veränderungen geringer ausfallen. Dennoch würde die Abschwächung der Atlantischen Meridionalen Umwälzzirkulation in jedem Fall zu einer Abnahme der biologischen Produktivität im Nordatlantik führen. Weitere Auswirkungen sind: mehr Winterstürme in Nordeuropa, weniger Regen im Sommer in der Sahelzone und Südasien, weniger Wirbelstürme im Atlantik und ein Anstieg des Meeresspiegels entlang der Nordostküste Nordamerikas.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Der Klimawandel wird voraussichtlich die Ozeanzirkulation sowie Phänomene wie El Niño beeinflussen. Es wird erwartet, dass sich wegen der Erwärmung des Ozeans im Laufe des 21. Jahrhunderts die Atlantische Meridionale Umwälzzirkulation abschwächt und extreme El-Niño-Ereignisse häufiger auftreten.

ANSTIEG DES MEERESSPIEGELS

Der globale mittlere Meeresspiegel ist im Verlauf des vergangenen Jahrhunderts um ca. 16 cm angestiegen und dies mit einer immer größeren Anstiegsrate. Im Zeitraum 2006-2015 lag die Anstiegsrate bei 3,6 mm pro Jahr. Es ist die höchste Anstiegsrate seit 1900, sie ist 2,5 Mal größer als die Anstiegsrate im Zeitraum 1901-1990. Ein Anstieg um wenige Millimeter pro Jahr mag geringfügig erscheinen. Dennoch summieren sich diese geringen Zahlen über die Zeit und führen häufiger zu extremen Flutereignissen in Küstenregionen.

In Abb. 14 sind die Hauptfaktoren, die zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen, zusammengestellt. Zurzeit trägt vorwiegend der Eisverlust von Eisschilden und Gletschern zum Meeresspiegelanstieg bei: 1,8 mm pro Jahr im Zeitraum 2006-2015. Die Wärmeausdehnung des Ozeans führt im gleichen Zeitraum zu einem Anstieg von 1,4 mm pro Jahr: Da sich das Wasser des Ozeans erwärmt, dehnt es sich aus und nimmt ein größeres Volumen ein, was einen Anstieg des Meeresspiegels zur Folge hat.

Bei steigendem Meeresspiegel reicht eine Sturmflut weiter ins Landesinnere. Die daraus resultierende Überschwemmung der Küste kann zusammen mit der durch tropische Wirbelstürme verursachten Küstenerosion zu mehr Regenfällen und Wind führen.

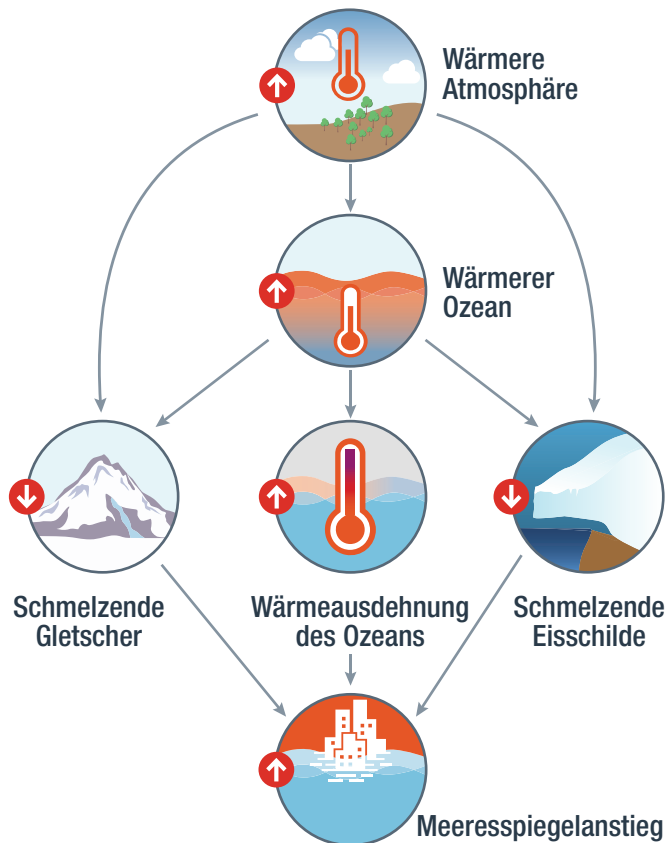


ABBILDUNG 14 Wie eine wärmere Atmosphäre und ein wärmerer Ozean zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen.

Der Meeresspiegel wird voraussichtlich weiter und immer schneller ansteigen. Aufgrund seiner großen Wärmeträgheit reagiert der Ozean langsam. Das bedeutet, dass der Meeresspiegel auch noch nach der Stabilisierung der globalen Temperatur weiter ansteigen wird. Im RCP2.6 könnte der Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 29-59 cm über dem Niveau der 1990er Jahre liegen, bei einer Anstiegsrate von 2-6 mm pro Jahr. Im RCP8.5 sind es 61-110 cm bis 2100, bei einer Anstiegsrate von 1-2 cm pro Jahr. Schaut man in den 5. Sachstandsbericht des IPCC (AR5), stellt man fest, dass die Werte für den erwarteten Meeresspiegelanstieg revidiert wurden: Der Wert liegt jetzt um 10 cm höher, weil inzwischen mit einem größeren Eisverlust des Antarktischen Eisschildes gerechnet wird. Außerdem könnte im kommenden Jahrhundert und darüber hinaus der Beitrag der Antarktis zum Meeresspiegelanstieg noch ansteigen – aufgrund von Instabilitäten des Eisschildes. Im RCP2.6 wird bis 2300 mit einem Meeresspiegelanstieg von rund 1 m gerechnet, im RCP8.5 sind es bis zu 5 m.

Mit dem Anstieg des Meeresspiegels steigt auch die Häufigkeit extremer Meeresspiegel (siehe Abb. 15). Es wird erwartet, dass Ereignisse, die in der Vergangenheit nur einmal pro Jahrhundert auftraten, bis 2100 mindestens einmal im Jahr auftreten werden, und zwar für beide Emissionsszenarien.

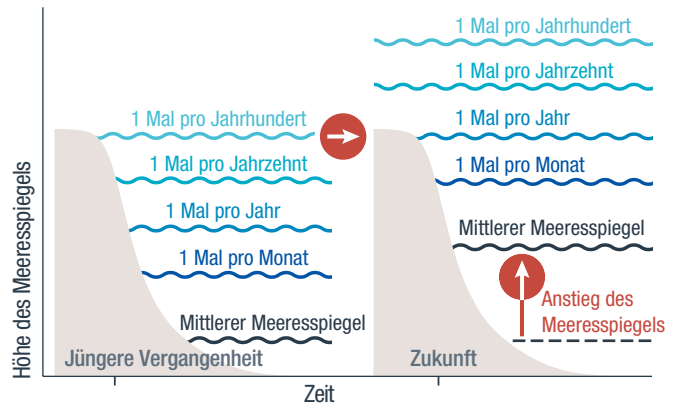


ABBILDUNG 15 Aufgrund des globalen mittleren Meeresspiegelanstiegs wird erwartet, dass an den meisten Orten die Wasserpegel, die in der Vergangenheit einmal pro Jahrhundert erreicht wurden, bis 2100 mindestens einmal im Jahr vorkommen werden.

http://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/spm-section-3/srocc_spm4_final_edit_sl/

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Der Eisverlust von Gletschern und den Eisschilden Grönlands und der Antarktis sowie die Wärmeausdehnung des Meerwassers tragen zu einem globalen Anstieg des Meeresspiegels bei. Der globale mittlere Meeresspiegel steigt im Moment mit einer Geschwindigkeit von 3,6 mm pro Jahr. Diese Anstiegsrate hat sich im Laufe des letzten Jahrhunderts beschleunigt, mit regionalen Unterschieden. Ereignisse mit extremen Wasserpegeln, die in der Vergangenheit selten waren, werden bis 2050 immer häufiger auftreten (mindestens einmal im Jahr) und dies an vielen Orten weltweit.

Es wird erwartet, dass sich der Anstieg des Meeresspiegels nach 2100 weiter fortsetzen wird – für beide Emissionsszenarien (RCP2.6 und RCP8.5).

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT # AUFGABEN

- Schau dir auf der Seite der NASA zum Thema „Veränderung des Meeresspiegels“ die zwei Diagramme mit der Entwicklung des Meeresspiegels an: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>. Wie wurde bis 2013 der Meeresspiegel gemessen? Und ab 2013? Erkläre, warum die Messung des Meeresspiegels besonders wichtig ist für die Untersuchung des Klimawandels?
- Berechne den durchschnittlichen Anstieg des Meeresspiegels seit 1880 unter Verwendung der NASA-Daten. Vergleiche und bewerte dein Ergebnis mit der gegenwärtigen Anstiegsrate des Meeresspiegels von 3,4 mm pro Jahr.
- Nenne zwei Faktoren, die zum Anstieg des Meeresspiegels beitragen. Erkläre, weshalb sie zum Meeresspiegelanstieg beitragen.

TROPISCHE WIRBELSTÜRME

Mit dem Anstieg der globalen Temperatur wird erwartet, dass die stärksten tropischen Wirbelstürme und die damit einhergehenden starken Regenfälle häufiger auftreten

werden. Die damit verbundenen Sturmfluten kommen zum erhöhten Meeresspiegel hinzu. Sie erhöhen das Risiko größerer Überschwemmungen der Küstengebiete.

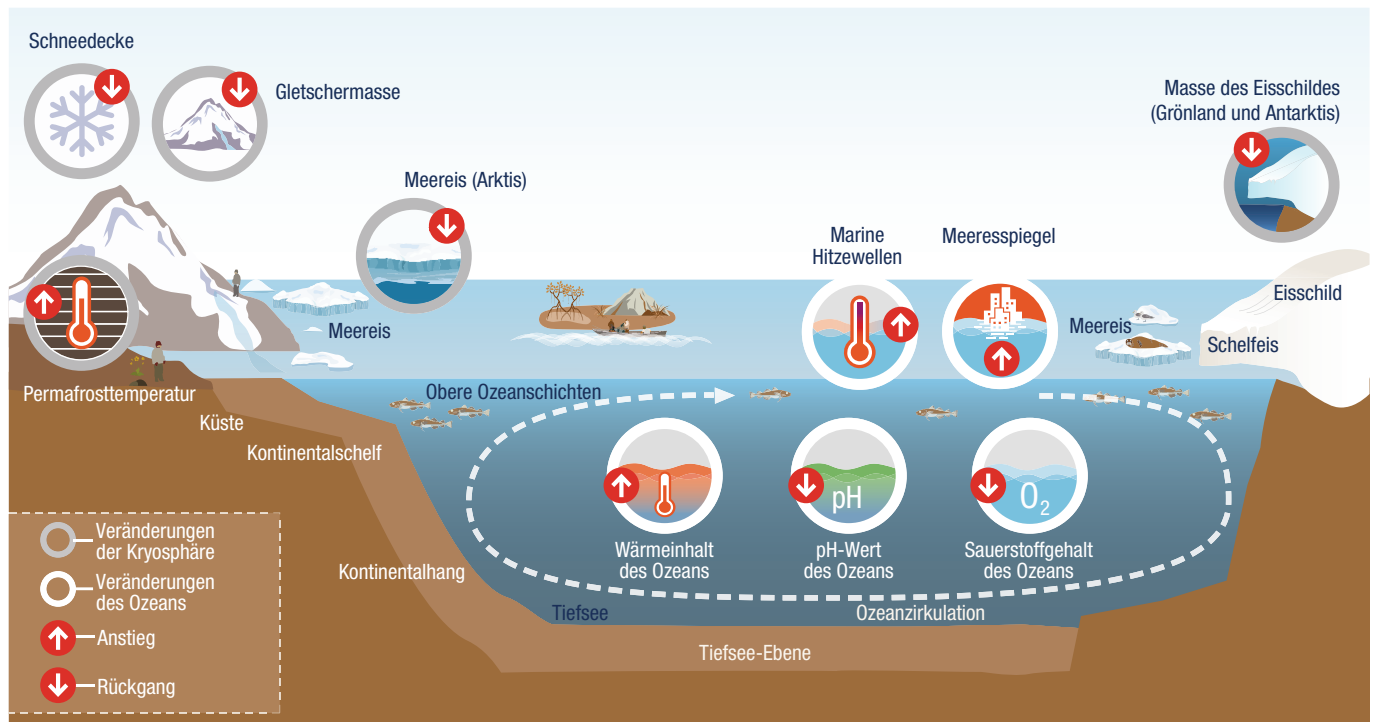


ABBILDUNG 16 Die Komponenten des Ozeans und der Kryosphäre (Schneedecke, Permafrost, Gletscher, Meereis, Eisschilde und Schelfeis) und wie der Klimawandel sie beeinflusst (verdeutlicht in den Kreisen). Zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Ozean zählen der Anstieg des Meeresspiegels, ein steigender Wärmeinhalt des Ozeans, marine Hitzewellen, ein Rückgang des Sauerstoffgehalts des Ozeans und Ozeanversauerung. Zu den Veränderungen der Kryosphäre gehören der Rückgang der Ausdehnung des Arktischen Meereises, der Masseverlust der beiden großen Eisschilde (Grönland und Antarktis), der Masseverlust der Gletscher, das Auftauen von Permafrostböden und ein Rückgang der Ausdehnung der Schneedecke.

Basierend auf dem SROCC, Kapitel 1, IPCC 2019 – https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/05_SROCC_Ch01_FINAL.pdf

Beobachtete und projizierte Auswirkungen auf Ökosysteme

MIGRATION UND UMWERTILUNG DER ARTEN

Mit der Erwärmung der Atmosphäre und des Ozeans verändern sich die Verteilung und Abundanz der Arten an Land und im Ozean.

Der Lebensraum von an Kälte angepassten und von Schnee abhängigen Arten an Land schwindet. Arten ziehen sich in höhere Regionen oder in Richtung der Pole zurück, kommen seltener vor und sind stärker vom Aussterben bedroht. Auf der anderen Seite profitieren manche Arten von einer geringeren Schneedecke, vom Gletscherrückgang und tauenden Permafrostböden: Sie breiten sich in neuen Gebieten aus und ihre Abundanz steigt. Die Migration von gewöhnlicherweise in geringeren Höhenlagen angesiedelten Arten in höhere Höhenlagen hat zu einem Anstieg des Artenreichtums in Hochgebirgsregionen geführt. In der arktischen Tundra (nördlichstes Gebiet der Arktis) wird ein vermehrtes Pflanzenwachstum beobachtet – die Erdoberfläche wird dort grüner (*Greening*). Zu beobachten ist aber auch der entgegen-

gesetzte Prozess: An manchen Stellen der Tundra und des borealen Nadelwalds (Taiga) geht das Pflanzenwachstum zurück und es gibt eine Braunfärbung der Vegetation (*Browning*). In beiden Emissionsszenarien wird erwartet, dass sich sowohl die Migration hangaufwärts in Hochgebirgsregionen als auch der Rückgang der Gebiete, in denen eine bestimmte Art vorkommt, fortsetzen werden.

In der Arktis wird erwartet, dass die dort einzigartige Biodiversität verloren geht, da Arten mit einem sehr spezifischen Lebensraum durch Arten ersetzt werden, die in Richtung der Pole ziehen. Es wird erwartet, dass sich bis 2050 Sträucher und Bäume in der arktischen Tundra ausbreiten werden und dort 24-52% der Landoberfläche bedecken werden. Es wird ebenfalls vorhergesagt, dass sich der Boreale Nadelwald an seiner nördlichen Grenze ausbreiten wird, an seiner südlichen Grenze jedoch zurückziehen wird. Ganz allgemein werden Arten gezwungen sein, in höhere Breiten und Höhen zu migrieren.

Das Auftauen der Permafrostböden und die verminderte Schneedecke werden die Hydrologie der Arktis beeinflussen und zu vermehrten Waldbränden führen. Dies wird Auswirkungen auf die Vegetation und die Fauna haben. Rund 20% der Permafrostböden in der Arktis können unmittelbar auftauen, was mit einem Absacken des Bodens einhergeht. Es wird ebenfalls erwartet, dass sich der gesamte Wasserkreislauf der Arktis verstärken wird, einschließlich Niederschläge, Evapotranspiration und dem Abfluss der Flüsse in den Arktischen Ozean. Trotzdem könnte der Rückgang der Schneedecke und des Permafrosts zu einer Austrocknung der Böden führen.

Im Ozean hat sich die Verteilung des Phytoplanktons, der Fische und der Meeressäuger in Richtung Pole verschoben. Diese Verlagerung – von mehreren Dutzend Kilometern pro Jahrzehnt – erfolgt an der Ozeanoberfläche schneller als am Meeresboden.

Diese Veränderungen der räumlichen Verteilung der Arten gehen einher mit Änderungen ihrer jahreszeitlichen Aktivitäten. Da die warmen Jahreszeiten im Ozean und in den Polar- und Gebirgsregionen länger werden, dehnen viele Arten ihrer jahreszeitlichen Aktivitäten aus und ändern ihr Verhalten.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Der Verlust der Landkryosphäre führt zu Veränderungen der Ökosysteme in den Hochgebirgsregionen und der Arktis. Diese Veränderungen werden sich fortsetzen. Es kommt zur Migration von Arten, zu Verschiebungen der Artenverteilung und zu einem Verlust der Biodiversität.

MARINE ÖKOSYSTEME, VERBRAUCHER UND FISCHEREI

Primärproduzenten, wie Phytoplankton, sind Organismen, die mittels Photosynthese aus anorganischer Materie organische Materie erzeugen. Primärverbraucher, wie Zooplankton, ernähren sich von Primärproduzenten. Eine stärkere Dichtestratifikation führt seit den 1970er Jahren zu einer Veränderung des Nährstoffangebots an der Ozeanoberfläche, was teilweise **Auswirkungen auf die Phytoplanktonproduktion hat**. Allerdings gibt es dazu nur wenige Daten, so dass die räumliche Verteilung dieser Veränderungen ungewiss ist.

In der Arktis ist die Nettoprimärproduktion angestiegen, da es mehr eisfreies Wasser gibt. Außerdem **blühen das Phytoplankton und die Eisalgen zu einem früheren Zeitpunkt im Frühjahr**. Da sich Zooplankton als Primärverbraucher von Phytoplankton ernährt, ist es direkt von Veränderungen der Abundanz und der jahreszeitlichen Verteilung des Phytoplanktons betroffen. Da Plankton außerdem an der Basis zahlreicher mariner Nahrungsnetze steht, wirken sich diese Veränderungen kaskadenartig auf das gesamte Nahrungsnetz aus: Sie wirken sich auf die Struktur und Funktion der Nahrungsnetze aus, mit möglichen Folgen für die Biodiversität und die Fischerei.

Als Folge der Erderwärmung und der Stratifikation wird in Klimamodellen ein Rückgang der Primärproduktion um 4-11% bis 2090 projiziert (RCP8.5). Ferner wird erwartet, dass die Versauerung des Ozeans Auswirkungen auf die Pteropoden, eine wichtige Zooplanktonart, haben wird. Pteropoden werden auch „Kartoffelchips des Ozeans“ genannt – aufgrund ihrer entscheidenden Rolle in marinen Nahrungsnetzen. Sie haben eine Schale aus Kalziumkarbonat. Die Versauerung des Ozeans stellt daher eine Gefahr für sie dar.

Es wird erwartet, dass durch die Erderwärmung und den Rückgang der Primärproduktion die **globale Biomasse sämtlicher Meerestiere (einschließlich Fische) bis 2100 um 15% zurückgehen wird**, ausgehend vom Niveau der 1990er Jahre. (In der Arktis wird diese Biomasse jedoch ansteigen.)

Die verstärkte Stratifikation hat zu einer Abnahme der Sauerstoffmenge in der oberen Ozeansicht geführt. Die Stratifikation verhindert, dass das für marine Lebewesen lebenswichtige sauerstoffreiche Oberflächenwasser in tiefere Schichten gelangt.

In vielen Regionen haben die Erwärmung und die Veränderungen der Primärproduktion zu einem Rückgang der Fisch- und Schalentierbestände geführt. Die Fangquoten haben dementsprechend abgenommen. Seit den 1970er Jahren hat sich auch die Zusammensetzung des Fischfangs geändert: In den flachen Meeren gibt es weltweit immer mehr Warmwasserarten, und Fischbestände wandern in Richtung der Pole.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Marine Ökosysteme verändern sich aufgrund der Auswirkungen der Erwärmung des Ozeans, der Stratifikation, mariner Hitzewellen, des Sauerstoffmangels und der Ozeanversauerung. Seit den 1950er Jahren kommt es aufgrund der Erwärmung des Ozeans zu Veränderungen der Abundanz und der Verteilung mariner Arten – vom Plankton bis zu den Fischen, Meeressäugern und Seevögeln. Diese Veränderungen haben Auswirkungen auf die Struktur und Funktion mariner Nahrungsnetze, was wiederum Folgen für den Fischfang hat.

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT # AUFGABEN

- Zeichne eine einfache Nahrungskette, die die Zusammenhänge in einem Ökosystem wiedergibt. Verwende dabei folgende Begriffe: Primärproduzenten, Sekundärproduzenten, Sonnenenergie, Zooplankton, Phytoplankton, Fisch, Verbraucher.
- Füge in die Zeichnung die verschiedenen Auswirkungen des Klimawandels auf „deine“ Nahrungskette hinzu.

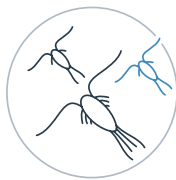


Veränderungen der Biodiversität

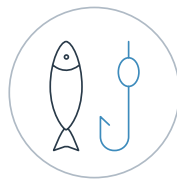
einschließlich Verschiebungen der Artenverteilung, Veränderungen der Bestände und Veränderungen der jahreszeitabhängigen Aktivitäten



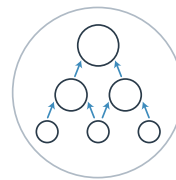
Zunahme von Waldbränden



Veränderungen der Primärproduktion



Veränderungen der Fischerei



Veränderungen der Struktur von Ökosystemen



Gefährdung der bestehenden Ökosysteme

ABBILDUNG 17 Beobachtete und erwartete Auswirkungen auf die Ökosysteme

KÜSTENÖKOSYSTEME

Küstenökosysteme, wie Feuchtgebiete (Salzwiesen, Mangrovenwälder, Seegraswiesen), Korallenriffe und Felsenküsten **stellen zahlreiche Ökosystemdienstleistungen bereit**. Sie schützen die Küste vor Erosion, bilden einen Puffer für die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs und liefern Nahrung sowie Lebensräume für Fauna und Menschen. Sie sichern unschätzbare kulturelle und spirituelle Funktionen für die in diesen Gebieten lebenden Menschen, und sind außerdem unerlässlich für den Tourismus.

Aufgrund des Siedlungsdrucks der Menschen, in Kombination mit dem Meeresspiegelanstieg, der Erwärmung des Ozeans, mariner Hitzewellen sowie extremer Wetterereignisse, sind **nahezu 50% der Küstenfeuchtgebiete im Laufe des 19. Jahrhunderts verschwunden**. Seit den 1960er Jahren sterben große Mangrovenwaldflächen ab. Der Verlust all dieser wichtigen Kohlenstoffspeicher führt zu einer Freisetzung von rund 0,15 bis 5,35 Gt CO₂ pro Jahr. In Flussmündungen führen die Erderwärmung, der Anstieg des Meeresspiegels und Veränderungen der Gezeiten zu einer Ausweitung der Versalzung (Salzwasser gelangt in Süßwassergebiete) sowie zu einem verminderten Sauerstoffgehalt des Wassers.

Korallenbleichen treten häufiger auf und führen seit 1997 zur Schädigung der Korallenriffe auf der ganzen Welt. Ursache für eine Korallenbleiche sind marine Hitzewellen: Die Korallen stoßen die auf ihnen angesiedelten Algen ab und verlieren ihre Farbe (werden weiß).

Aufgrund der Erderwärmung und der Ozeanversauerung wird erwartet, **dass in den Tropen nahezu alle Korallenriffe stark zurückgehen und in manchen Gegenden aussterben werden** – und zwar auch dann, wenn die globale Erwärmung auf 1,5°C begrenzt wird. Es sind bereits 30% der Korallen dieser Erde verschwunden – durch Umweltverschmutzung, Überfischung sowie Erwärmung des Meerwassers. In Emissionsszenarien, in denen die Erderwärmung die 1,5°C-Grenze nicht überschreitet, wird projiziert, dass 70-90% der Korallen verschwinden werden;

bei einer Erderwärmung von 2°C sterben sogar 99% der Korallen⁸. Die Zusammensetzung und Vielfalt der verbleibenden Riff-Lebensgemeinschaften werden sich von denen der heutigen Korallenriffe unterscheiden.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Küstenökosysteme sind in vielerlei Hinsicht von den Auswirkungen des Klimawandels bedroht: von der Ozeanversauerung und dem Sauerstoffmangel, bis hin zum Schmelzen des Meereises. Hinzu kommt der Siedlungsdruck der Menschen. All das verändert die Biodiversität und die Ökosystemdienstleistungen der Küstenökosysteme.

Es wird erwartet, dass sich der Artenschwund in den Tropen am schnellsten und am stärksten vollziehen wird. Empfindliche Ökosysteme, wie Korallenriffe, Seegraswiesen und Kelpwälder, werden stark gefährdet sein, sollte die globale Erwärmung auf über 2°C ansteigen.

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT #AUFGABEN

Derzeit gibt es nur wenige invasive Arten in der Arktis. Es wird jedoch erwartet, dass ihre Zahl mit fortschreitendem Klimawandel ansteigen wird.

- Suche invasive Arten, die heutzutage aufgrund des Klimawandels in der Arktis vorkommen. Erkläre, warum ihre Zahl voraussichtlich ansteigen wird. Für diese Aufgabe ist folgende englischsprachige Seite hilfreich: Conservation of Arctic Flora and Fauna – <https://www.caff.is/invasive-species>.
- Äußere dich zur Auswirkung eines Anstiegs invasiver Arten auf die Ökosysteme in der Arktis.
- Informiere dich über Maßnahmen und Strategien, die umgesetzt wurden, um mit solchen Invasionen besser umzugehen.

8 IPCC-Sonderbericht über 1,5°C globale Erwärmung – <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Beobachtete und projizierte Auswirkungen auf Menschen

MENSCHLICHE GEMEINSCHAFTEN IN DER ARKTIS UND IN HOCHGEBIRGSREGIONEN

Der Rückgang der Schneedecke, Eisverlust von gefrorenen Flüssen und Seen, das Schmelzen der Gletscher und das Auftauen der Permafrostböden beeinflussen die menschlichen Gemeinschaften in der Arktis und in Hochgebirgsregionen in vielerlei Hinsicht.

Der Schwund der Landkryosphäre wirkt sich sowohl auf die Wasserreserven als auch auf den Zugang und die Verfügbarkeit von Nahrung (Jagen, Fischen, das Halten von Tierherden) sowie auf landwirtschaftliche Erträge aus. Aufgrund des Rückgangs der Kryosphäre hat sich die Menge und die Saisonabhängigkeit der Abflüsse von schnee- und gletschergespeisten Flüssen verändert. Die Veränderungen der Saisonabhängigkeit der Wasserzufuhr wirken sich auch auf Wasserkraftanlagen aus, was wiederum die Energieversorgung beeinflusst. All diese Veränderungen haben Folgen für die menschlichen Gesellschaften, die in den Bergregionen bzw. talabwärts leben.

Der Rückgang der Kryosphäre wirkt sich auch auf die Gesundheit der Menschen aus. Ein erhöhtes Risiko für Krankheiten durch eine Verunreinigung von Wasser und Nahrungsmitteln, Unterernährung und Verletzungen sowie Beeinträchtigungen der psychischen Gesundheit stellen einige der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit dar. Die indigene Bevölkerung ist besonders betroffen. In manchen Hochgebirgsregionen hat sich die Wasserqualität

bereits jetzt schon verschlechtert – durch Kontaminierung mit Schadstoffen (insbesondere Quecksilber), die beim Schmelzen der Gletscher und dem Auftauen des Permafrosts freigesetzt wurden.

Durch den Schwund des Permafrosts in der Arktis und in Hochgebirgsregionen kommt es zu Absackungen des Bodens, und Berghänge verlieren ihre Stabilität. Das hat zur Folge, dass Gebäude und Straßen beschädigt werden. Wenn Böden absacken, hat das Folgen für die darüberliegende Infrastruktur. Der Großteil der Infrastruktur in der Arktis befindet sich in Regionen, in denen bis 2050 die Permafrostböden voraussichtlich weiter auftauen werden.

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT #AUFGABEN

- Bedecke den Boden einer Auflaufform mit nasser Erde. Forme mit der Erde Berge, Täler und andere geografische Gebilde. Stelle die Auflaufform in den Gefrierschrank: Fertig ist die Permafrost-Landschaft. Baue aus Knete eine kleine Stadt – ein paar Häuser und Straßen. Hole die Auflaufform am nächsten Tag wieder aus dem Gefrierschrank heraus und platziere die Häuser und Straßen in deine Landschaft. Lass alles einen Tag lang an einer warmen Stelle stehen.
- Beschreibe, was mit deiner Stadt passiert ist. Was meinst du, wie sich der Klimawandel auf die menschlichen Gemeinschaften, die in der Nähe der Arktis leben, auswirken wird?

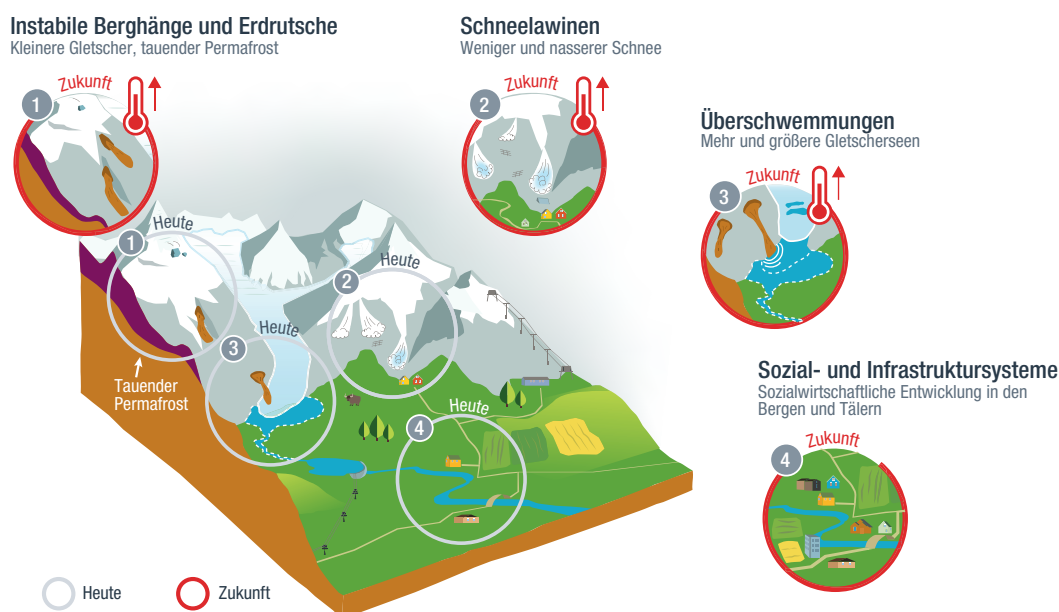


ABBILDUNG 18 Voraussichtliche Veränderungen der klimabedingten Gefahren in Bergregionen – verursacht durch Veränderungen der Schneedecke, der Gletscher und des Permafrosts sowie der damit einhergehenden Veränderungen der Exposition und Vulnerabilität von Individuen, Gemeinschaften und Infrastrukturen der Bergregionen.

SROCC, Kapitel 2, IPCC 2019 – https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-2/2-1-introduction/ipcc-srocc-ch_2_7/

Der Rückgang der Kryosphäre in Hochgebirgsregionen beeinträchtigt bereits jetzt den Tourismus und wird ihn auch weiter beeinträchtigen (Skifahren, Gletscher-Tourismus, Bergwandern und Bergsteigen). Schneeanlagen in Skigebieten werden immer unwirksamer, wenn die Temperatur der Atmosphäre weiter steigt.

In den letzten zwei Jahrzehnten wurde – ermöglicht durch den Rückgang des Meereises – ein **Anstieg der Schifffahrt** in der Arktis verzeichnet. 2011 durchquerten vier Schiffe die Nordostpassage. Im Jahr 2018 waren es bereits 227. Der Anstieg der Schifffahrt steigert das Risiko für die Einführung invasiver Arten sowie die Gefahr der Umweltverschmutzung, sollten Maßnahmen zur Umsetzung neuer Regulierungen nicht Schritt halten.

Es gibt **Anpassungsoptionen**, von denen einige bereits umgesetzt wurden. In der Arktis sorgen gemeinschaftlich genutzte Gefrierschränke für eine bessere Ernährungssicherheit. Die in der Arktis lebenden Gemeinschaften haben ihre saisonabhängigen Aktivitäten verschoben, um zum Beispiel unsichere Transportbedingungen auf dem (tauernden) Eis zu vermeiden.

Zu den Anpassungsmaßnahmen in Hochgebirgsregionen zählen ein koordiniertes Wassermanagement (u. a. der Industrien) sowie eine Diversifikation der touristischen Aktivitäten. Sowohl in der Arktis als auch in Hochgebirgsregionen hat das Wissen der indigenen und einheimischen Bevölkerung die Anpassungen erleichtert.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

In Hochgebirgsregionen und den flussabwärts gelegenen Regionen wird sich der Rückgang von Teilen der Landkryosphäre auf die Wasserressourcen und deren Nutzung auswirken – insbesondere auf Wasserkraftwerke und die landwirtschaftliche Bewässerung. In der Arktis wird sich der Rückgang der Kryosphäre auf die Lebensgrundlage der Menschen auswirken. Die Risiken durch Überschwemmungen, Lawinen, Erdbeben und Bodendestabilisierung werden steigen und die Infrastruktur, den Tourismus und die Sicherheit beeinträchtigen.

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT #AUFGABEN

- Es gibt viele Wörter, um die verschiedenen Formen von Schnee und Eis zu beschreiben, bzw. Wörter, die Schnee und Eis als Wortteil enthalten. Trage mindestens zehn solche Wörter zusammen. Beispiele: Pulverschnee, Neuschnee, Firnschnee, Eisberg usw.
- In manchen Kulturen sind hohe, mit Schnee- und Eis bedeckte Berge heilig. Suche nach Informationen dazu.





KÜSTENGEBIETE

Menschliche Gemeinschaften, die in Küstengebieten leben, sind zahlreichen klimabedingten Gefahren ausgesetzt, wie tropischen Wirbelstürmen, Sturmfluten, Überschwemmungen, marinen Hitzewellen, dem Verlust von Meereis und dem Auftauen von Permafrost. Zu den klimabedingten Gefahren kommen nicht klimabedingte Gefahren hinzu, wie etwa Bodenabsenkungen, Umweltverschmutzung, Zerstörung von Lebensräumen, Riff- und Sandabbau, der Verlust von Wissen der indigenen und einheimischen Bevölkerung. Wenn mehrere klimabedingte Gefahren gleichzeitig oder aufeinanderfolgend auftreten, können sich ihre Auswirkungen verstärken – man spricht von Kumulierung von Ereignissen („*compound events*“).

Sturmfluten, die mit einem Anstieg des mittleren Meeresspiegels einhergehen, können Menschen das Leben kosten, Infrastrukturen zerstören und zum Eindringen von Salzwasser in Böden und Grundwasser führen. Durch den Verlust von Meereis in der Arktis sind die an den Küsten lebenden menschlichen Gemeinschaften einer verstärkten Küstenerosion ausgesetzt, die die Infrastruktur in Mitleidenschaft zieht. Einige dieser in den Küstengebieten lebenden Gemeinschaften beabsichtigen bereits, sich andersorts anzusiedeln.

Es gibt zahlreiche Optionen, **jede einzelne dieser klimabedingten Gefahren anzugehen**. Wie man am besten vorgeht, hängt allerdings von den Rahmenbedingungen vor Ort ab. In jedem Fall sind Überwachungs- und Frühwarnsysteme hilfreich, um Risiken einzuschränken. Um sich an den Meeresspiegelanstieg anzupassen, sind Küstenschutz und sogar ein Rückzug aus den Küstengebieten mögliche

Optionen. Oft verhindern allerdings fehlende finanzielle Mittel, Kenntnisse und Kapazitäten die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Die Veränderungen des Ozeans beeinflussen die marinen Ökosysteme und stellen eine Herausforderung für die an den Küsten lebenden Menschen dar. Es sind viele Bereiche von den Auswirkungen betroffen: die Ernährungssicherheit (Fischerei), die Gesundheit und das Wohlbefinden, die Traditionen und Lebensgrundlagen, der Tourismus und die Freizeitaktivitäten. Es werden bereits überall auf der Welt Maßnahmen umgesetzt, um die Gefahren in den Küstengebieten zu begrenzen.

MARINE UND KÜSTENNAHE ÖKOSYSTEME UND FISCHEREI

Im Rahmen des Emissionsszenarios RCP8.5 wird erwartet, dass bis 2100 eine weltweite Abnahme der Fischbiomasse zu einem 20-prozentigen Rückgang des Fischfangs führen wird. Dieser Rückgang könnte innerhalb des Emissionsszenarios RCP2.6 drei bis vier Mal geringer ausfallen. Die Fischbiomasse wird in höheren Breitengraden ansteigen, was zu einer Ausdehnung der Fischerei in Richtung der Pole führen wird. In den Tropen wird die Fischerei dagegen zurückgehen. Diese Veränderungen des Fischbestandes könnten zu Konflikten zwischen den Fischfangflotten, den Behörden und/oder den Gemeinschaften führen.

Die **Sicherheit von Nahrungsmitteln aus dem Meer** steht ebenfalls auf dem Spiel: Fische, Meeresfrüchte und Meerespflanzen enthalten immer mehr organische Schadstoffe und Quecksilber. Für die Menschen an den Küsten, die viel Fisch und Meeresfrüchte verzehren, sind diese Risiken höher.

Veränderungen der marinen Ökosysteme werden zum Verlust von Kultur und Traditionen führen. Unter anderem wird das Wissen der indigenen und einheimischen Bevölkerung verloren gehen. Die traditionellen Ernährungsweisen, die Ernährungssicherheit sowie die Freizeitaktivitäten werden sich zum Schlechteren verändern.

Jeder noch so kleine Anstieg des Meeresspiegels **wird die Erosion, die Landverluste, die Überschwemmungen, die Versalzung der Böden und die Auswirkungen von Sturmfluten verstärken**. Der Anstieg des Meeresspiegels wird sich im Laufe dieses Jahrhunderts in beiden Emissions-szenarien fortsetzen. Das Ausmaß von Zerstörungen durch alljährliche Überschwemmungen der Küsten wird 2100 um zwei bis drei Größenordnungen größer sein als heute, sollten keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Tiefliegende Inseln und Küsten sind am stärksten gefährdet. Gefährdet

sind auch einige Städte in Flussdeltas, tropische Inselstaaten und Küstengebiete in der Arktis. Einige Inselstaaten könnten unbewohnbar werden, wobei sich äußerst schwer einschätzen lässt, ab was für einem Meeresspiegelanstiegs ein solches Ereignis eintreten droht.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Klimawandelbedingte Veränderungen der Verteilung und Abundanz von Fischbeständen werden sich auf das Einkommen, die Lebensgrundlagen sowie auf die Ernährungssicherheit der Gemeinschaften auswirken, die auf die Fischerei angewiesen sind. Der Verlust und die Zerstörung von marinen Ökosystemen beeinträchtigen den Beitrag des Ozeans zur Identität und zum Wohlbefinden der Menschen. Menschliche Gemeinschaften, die in tiefliegenden Gebieten leben, werden im Laufe des kommenden Jahrhunderts aufgrund von Sturmfluten und des Meeresspiegelanstiegs erhöhten Risiken ausgesetzt sein.

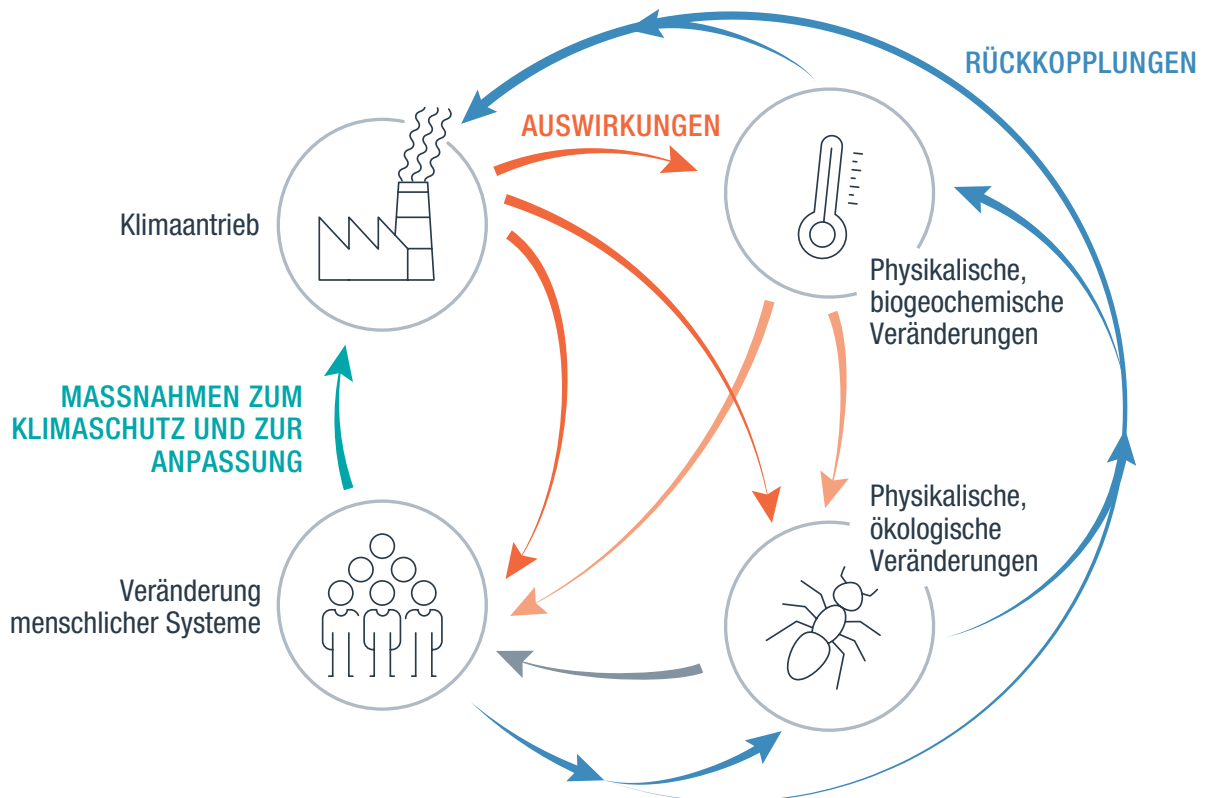


ABBILDUNG 19 Kaskadeneffekte. Hier ein konkretes Beispiel:

Anstieg der Treibhausgasemissionen → globale Erwärmung → Anstieg der Ozeantemperatur → Rückgang der Abundanz von Primärproduzenten → Verlagerung der Fischbestände in Richtung der Pole → Rückgang des Fischfangs bei den arktischen Gemeinschaften → Auswirkungen auf die Gesundheit und Lebensgrundlagen

Basierend auf einer Infografik des IPCC, 2019 – https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-1-framing-and-context-of-the-report/1-3time-scales-thresholds-and-detection-of-ocean-and-cryosphere-change/ipcc-srocc-ch_1_1-e1574938357439/

4. Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz von Ozean und Kryosphäre

Herausforderungen

Es gibt **zahlreiche Herausforderungen für eine Anpassung an den Klimawandel**. Die Menschen können finanzielle, technologische oder institutionelle Maßnahmen ergreifen. Eine Anpassung von Ökosystemen erfordert außerdem Platz. Zerstörte Ökosysteme wiederherzustellen dauert lange. Außerdem stehen sie durch menschliche Aktivitäten unter Druck.

Eine der größten Herausforderungen ist die Zeit. Der Klimawandel wirkt sich in Zeiträumen aus, die viel größer sind als die Zeiträume, in denen Regierungen, Unternehmen und andere Stellen typischerweise Entscheidungen treffen und umsetzen. Der Klimawandel wirkt sich außerdem wirtschaftsbereichsübergreifend aus (es sind zum Beispiel die Wasser-, die Nahrungsmittel- und die Energieversorgung betroffen). Auch vor Ländergrenzen macht der Klimawandel nicht halt, was konzertierte, internationale Antworten erforderlich macht.

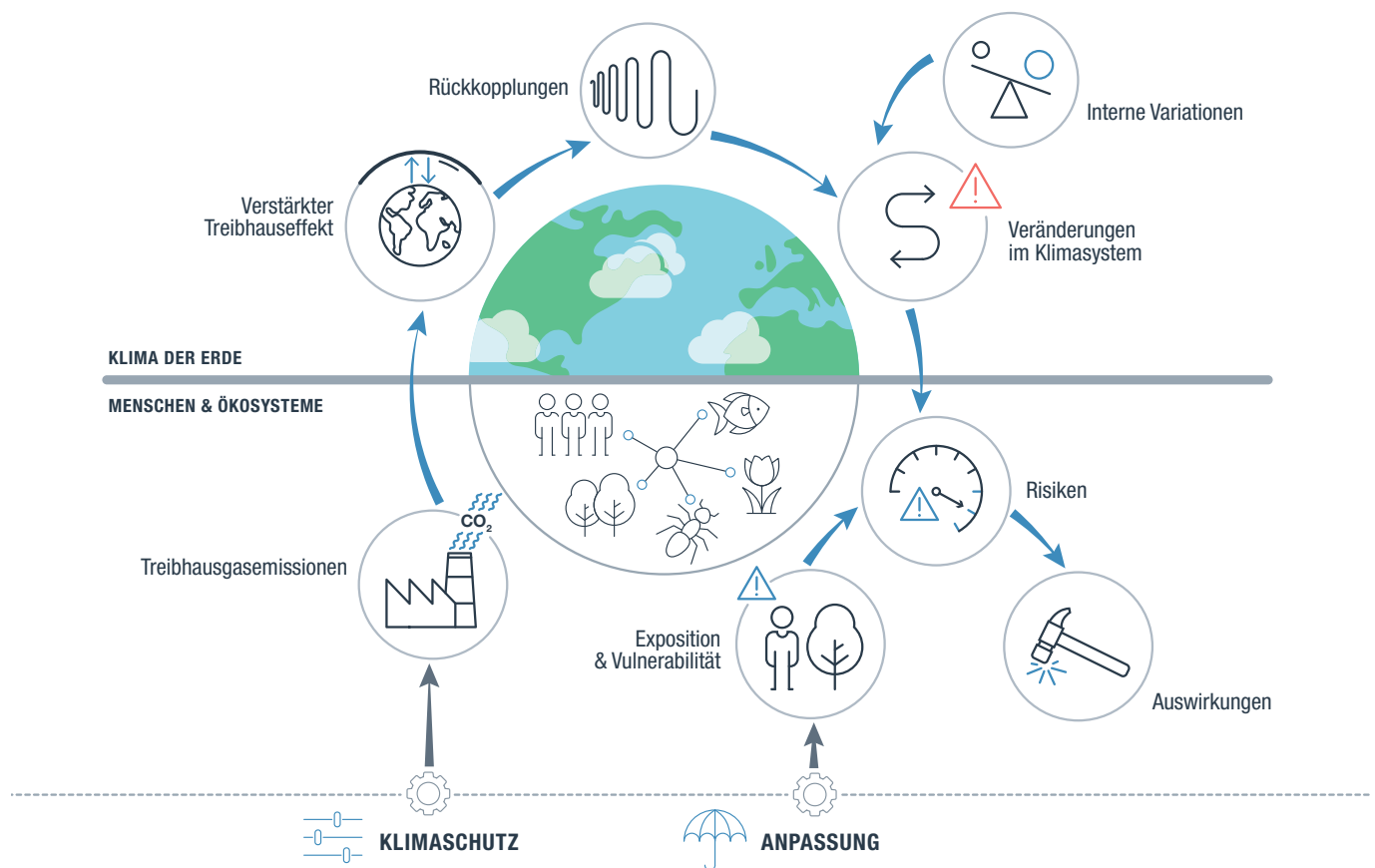


ABBILDUNG 20 Flussdiagramm – von den anthropogenen Treibhausgasemissionen zu den Auswirkungen des Klimawandels und den möglichen Lösungen (Klimaschutz und Anpassung)

Je schneller und stärker die Veränderungsrate, desto schlechter werden sich menschliche Gesellschaften und Ökosysteme anpassen können. Ökosysteme werden sich leichter an langsamere und kleinere Veränderungen anpassen können. Ebenso werden den menschlichen Gesellschaften bei einer langsameren globalen Erwärmung mehr Anpassungsoptionen zur Verfügung stehen.

Die Exposition, die Vulnerabilität und die Fähigkeit, mit den durch den Klimawandel verursachten Veränderungen umzugehen, sind für verschiedene Arten, Ökosysteme, Staaten, und Gemeinschaften äußerst unterschiedlich. **Die am stärksten betroffenen Bevölkerungsgruppen sind häufig auch diejenigen, die über die geringsten Anpassungsfähigkeiten verfügen:** Sie sind dadurch noch exponierter und vulnerabel. Das betrifft zum Beispiel arme Menschen, die in den tiefergelegenen Teilen einer Küstenmegastadt leben.

Selbst nach der Umsetzung erheblicher Anpassungsmaßnahmen können gewisse Risiken fortbestehen. Diese nicht zu mindernden Risiken gelten als „**Grenzen der Anpassung**“. Ein Beispiel ist die unvermeidbare Überflutung von tiefliegenden Küstengebieten, die zu einem Rückzug der Küstenlinie führt.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Ozean und die Kryosphäre fordern Menschen und Ökosysteme zu Gegenreaktionen heraus. In manchen Fällen werden die Grenzen der Anpassung erreicht. Die am stärksten vom Klimawandel betroffenen Menschen sind häufig diejenigen, die am wenigsten in der Lage sind, sich anzupassen.



Verstärkung der Gegenmaßnahmen

ANPASSUNG

Schutzmaßnahmen, Wiederherstellung und die Verminderung zusätzlicher Stressfaktoren wie Umweltverschmutzung können Ökosystemen bei der Anpassung helfen. Verbindet man geschützte Gebiete miteinander, können Arten leichter hangaufwärts bzw. marine Arten leichter in Richtung der Pole wandern. Man kann Arten bei ihrer Umsiedlung auch unterstützen. An manchen Orten werden Versuche zur Wiederherstellung von Ökosystemen durchgeführt. Das „Anlegen von Korallengärten“ ist ein Beispiel dafür. Diese Maßnahmen

können jedoch scheitern, wenn die Erderwärmung weiter voranschreitet und der Meeresspiegel weiter steigt. Anpassungs- und Schutzstrategien funktionieren am besten, wenn die einheimische Bevölkerung einbezogen wird, die oft über spezielles Wissen verfügt.

Beim Fischfang können die Risiken durch **einen Wiederaufbau überfischter Bestände und eine Regulierung** mit regelmäßigen Bestandsaufnahmen und verbesserten Maßnahmen reduziert werden. In Bezug auf die Wasserressourcen kann eine integrierte Bewirtschaftung aller

Nutzungsarten (Energie, Landwirtschaft, Trinkwasser usw.) wirksam sein, einschließlich der Entwicklung und Optimierung der Wasserspeicherung. Es ist in jedem Fall sinnvoll, grenzübergreifend zusammenzuarbeiten, damit die Maßnahmen eine größere Aussicht auf Erfolg haben.

Es gibt viele Maßnahmen zur Bekämpfung des Meeresspiegelanstiegs. Sie reichen vom Bau von Deichen und Uferdämmen (was kostspielig sein kann), über die Renaturierung von Küstenökosystemen (wie Mangroven, die einströmende Wellen abschwächen), bis hin zu einem Rückzug aus den Küstenregionen. Durch Küstenschutz kann das Risiko einer Überflutung auf weltweiter Ebene bis 2100 um zwei bis drei Größenordnungen reduziert werden. Dafür sind allerdings erhebliche Investitionen notwendig. Je höher der Meeresspiegelanstieg, desto größer die Herausforderung des Küstenschutzes – und zwar hauptsächlich aufgrund finanzieller und gesellschaftlicher Grenzen, und weniger aufgrund technischer Grenzen.

Trotz der großen Ungewissheit, um wie viel der Meeresspiegel nach 2050 ansteigen wird, **müssen zahlreiche, sich weit in die Zukunft auswirkende Entscheidungen heute getroffen werden.** Das macht eine schrittweise Herangehensweise notwendig, bei der die jüngsten wissenschaftlichen Erkenntnisse, gegenwärtige Anpassungskonzepte sowie umgesetzte Anpassungsstrategien regelmäßig bewertet und nach Bedarf angepasst werden.

Ein langsamerer Anstieg des Meeresspiegels – im Grunde jede sich langsamer verändernde Auswirkung des Klimawandels – bietet bessere Anpassungsmöglichkeiten. Daher darf der Klimaschutz nicht vernachlässigt werden.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Die Anpassung an den Anstieg des Meeresspiegels stellt für die an den Küsten lebenden Gemeinschaften ein Problem dar. In den kommenden Jahrzehnten die Exposition und Vulnerabilität verringern, Frühwarnsysteme installieren, Dämme und Wälle bauen sowie für eine Anpassung der Ökosysteme sorgen – all das sind wirksame Gegenmaßnahmen. Sie könnten, zumindest kurzfristig, die Notwendigkeit kostspieliger Maßnahmen begrenzen, die sich arme Gemeinschaften nicht leisten können.

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT #AUFGABEN

- Stelle dir vor, dass die ganze Klasse in einem Dorf an der Küste wohnt. Jeder Schüler spielt in dieser Gesellschaft eine bestimmte Rolle (er/sie ist z. B. ein Fischer, ein Sommertourist, ein beliebiger Bewohner, die Eigentümerin des Lebensmittelladens, ein Bauingenieur, die Bürgermeisterin, der Eigentümer der Bank, die Surflehrerin, die Küstenwache, der Vorsitzende des Tierschutzvereins, die Eigentümerin der Strandbar, usw.).

Durch den Anstieg des Meeresspiegels und aufgrund weiterer Faktoren wird der Strand jedes Jahr um einen Meter kleiner; bei den starken Stürmen werden die strandnahen Straßen und Gebäude häufig überflutet.

- Die Schüler sollen – aus der Sicht der Person, deren Rolle sie einnehmen – die Vor- und Nachteile verschiedener Lösungsmöglichkeiten für ihre Gemeinschaft erörtern.

Antwort: Die verschiedenen Personen haben unterschiedliche Prioritäten, keine Lösung ist perfekt. Es wird immer so sein, dass jede Lösung für einige von Vorteil und für andere von Nachteil ist. Lösungen könnten zum Beispiel sein: eine Umsiedlung der gesamten Gemeinschaft in das Landesinnere, der Bau von Strukturen zum Küstenschutz, eine Standaufspülung, eine Renaturierung der küstennahen Ökosysteme, nichts tun, usw.

Streitpunkte könnten sein: Kosten, ungleicher Nutzen, Auswirkungen auf den Tourismus (Veränderungen der Landschaft, Verschwinden des Strands), Auswirkungen auf die Existenzgrundlage (Arbeitsplatzverlust, Strukturschäden), Auswirkungen auf die Biodiversität usw.



KLIMASCHUTZ

Manche Küstenökosysteme sind wirksame CO₂-Senken. Die Wiederherstellung dieser Ökosysteme kann zu einer Senkung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre beitragen. Zu diesen CO₂-Senken gehören Mangrovenwälder, Salzwiesen und Seegraswiesen – sie werden auch „Blue-Carbon“ – Ökosysteme genannt. Auch wenn ihr potentieller Beitrag zu einer Emissionssenkung global gesehen gering ist (etwa 0,5% der derzeitigen globalen Emissionen), bieten sie zahlreiche zusätzliche Vorteile: Sie schützen die Küste vor Stürmen, verbessern die Wasserqualität und nutzen der Biodiversität und der Fischerei.

Auch erneuerbare Energien aus dem Ozean tragen zum Klimaschutz bei: wie etwa die Energieproduktion mittels Offshore-Windkraft, Gezeitenenergie, Wellenenergie, Temperatur- und Salzkonzentrationsgefälle sowie Biokraftstoffe aus Algen. Es wird erwartet, dass durch den aufkommenden Bedarf an alternativen Energiequellen neue wirtschaftliche Möglichkeiten entstehen.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Anpassung und Klimaschutz durch Stärkung oder Wiederherstellung von Ökosystemen helfen, zukünftige klimabedingte Veränderungen des Ozeans und der Kryosphäre zu bewältigen. Eine Anpassung ist nur dann effektiv, wenn die Erwärmung gering bleibt. Sie kann trotzdem für Ökosysteme und Menschen von vielfältigem und kurzfristigem Nutzen sein.

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT # AUFGABEN

Wenn fossile Brennstoffe verbrannt werden, wird CO₂ emittiert.

- Denke dir ein einfaches Experiment aus, mit dem du zeigen kannst, wie bei der Verbrennung CO₂ freigesetzt wird.
- Wie können wir unsere CO₂-Emissionen senken? Wie können wir andere Treibhausgasemissionen wie Methan (CH₄) oder Lachgas (Distickstoffmonoxid, N₂O) senken?

Schlüsselwörter: Biogasproduktion, Abholzung, Düngemittel, Landwirtschaft, erneuerbare Energie, Energiesparen.

GEGENMASSNAHMEN ERGREIFEN

Angemessene Gegenmaßnahmen zu ergreifen, wird der Schlüssel für die Bewältigung der Auswirkungen des Klimawandels sein. Entscheidend ist **eine „schnelle“ und ehrgeizige Reduktion der Emissionen**, verbunden mit erheblichen Anpassungsbemühungen. Anpassung funktioniert am besten, wenn ein integrierter, kooperativer Ansatz gewählt wird. Darüber hinaus müssen verschiedene – kurzfristige und langfristige – Zeithorizonte berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für den Anstieg des Meeresspiegels.

Eine raum- und bereichsübergreifende Zusammenarbeit ist unerlässlich, sowohl innerhalb und zwischen den Staaten. Das kann zum Beispiel im Rahmen von Verträgen und Übereinkommen geschehen. Es sollten ebenfalls von den Gemeinschaften organisierte Gegenmaßnahmen gefördert werden, einschließlich experimenteller Ansätze. Die gewonnenen Erkenntnisse können anschließend mit ähnlichen Gemeinschaften geteilt werden.

Neben einem guten Management gehören zu den Kernelementen für eine wirksame Anpassung:

- **Bildung und Klimakompetenz**, die Bewusstseinsbildung sowie Engagement und Fähigkeiten fördern;
- **Nutzen und Teilen von Daten**, Informationen und Wissen (einschließlich des Wissens der indigenen und einheimischen Bevölkerung);
- **Monitoring und Prognose**: Frühwarnsysteme – wie jene, die derzeit für El-Niño- und La-Niña-Ereignisse sowie für Tropenwirbelstürme und marine Hitzewellen zum Einsatz kommen – können verwendet werden, um negative Auswirkungen des Klimawandels zu bewältigen;
- **Auseinandersetzung mit sozialen Vulnerabilitäten und sozialer Gerechtigkeit** für eine faire und gerechte Zukunft.

Selbstverständlich sind ausreichend finanzielle Mittel die Voraussetzung, um all dies umzusetzen.

KURZ ZUSAMMENGEFASST

Um den Klimawandel zu bewältigen, sind schnelle, tiefgreifende Veränderungen notwendig – über alle Staaten hinweg und quer durch alle Gesellschaften. Zu den Schlüsselementen für eine wirksame Anpassung gehören Zusammenarbeit, Bildung, Monitoring, Prognosen, das Teilen von Daten sowie die Überwindung von Ungerechtigkeiten.

Zum Schluss

Der Ozean und die Kryosphäre spielen eine entscheidende Rolle im Klimasystem der Erde. Der Ozean absorbiert Kohlenstoffdioxid und Wärme und verteilt beides wieder um. Er versorgt uns mit Nahrung, erneuerbarer Energie und Rohstoffen und bietet uns Transportmöglichkeiten. Die Kryosphäre liefert uns Süßwasser in Form von Schmelzwasser der Gletscher. Der Ozean und die Kryosphäre sind von fundamentaler Bedeutung für unsere Gesundheit und unser Wohlbefinden, für Erholung und Freizeit sowie für unsere kulturellen Werte.

Klimabedingte Veränderungen werden sich über Jahrzehnte und Jahrtausende fortsetzen. Manche werden schlagartig auftreten und (andere) werden nicht rückgängig zu machen sein. Die Veränderungen im Ozean und in der Kryosphäre haben starke Auswirkungen auf menschliche Gemeinschaften, insbesondere auf die Gemeinschaften, die in küstennahen Gebieten, auf kleinen Inseln und in Polar- oder Hochgebirgsregionen leben. Heutzutage leben rund 4 Millionen Menschen dauerhaft in der Arktisregion. 10% von ihnen gehören indigenen Völkern an. 680 Millionen Menschen leben in küstennahen Gebieten und 670 Millionen in Hochgebirgsregionen.

Wenn wir den Ozean und die Kryosphäre und ihre Ökosysteme schützen – durch ehrgeizigen Klimaschutz und wirksame Anpassung –, können wir gleichzeitig einige der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (SDGs) erreichen. Wenn wir dagegen warten, bevor wir Maßnahmen ergreifen, werden die Gefahren durch den Klimawandel zunehmen, und damit auch die Kosten für Klimaschutz und Anpassung. So heißt es abschließend in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger des Berichtes:

„Soll dieses Ziel erreicht werden, muss die Transformation gelingen. Dies macht die Dringlichkeit deutlich, rechtzeitig ehrgeizige, koordinierte und nachhaltige Maßnahmen zu ergreifen.“

FÜR DEN SCHULUNTERRICHT #AUFGABEN

— Erkläre, was ein Haiku ist.

Antwort: Ein Haiku ist ein dreizeiliges japanisches Gedicht mit 17 Silben. Die erste Zeile umfasst fünf Silben, die zweite sieben und die dritte wieder fünf.

— Schreibe einige Haikus zum Thema Klimawandel, Ozean und Kryosphäre.

Beispiele auf Englisch:

<http://climate.miami.edu/your-haiku-to-the-environment/>



Glossar

ABFLUSS – Das Abfließen von Wasser oder Schnee von einem Gebiet an Land.

ALBEDO – Albedo bedeutet „Weiße“ und beschreibt das Reflexionsvermögen eines Objekts oder einer Oberfläche. Eis und Neuschnee haben eine hohe Albedo von 40% bis 80%: Sie reflektieren 40% bis 80% der einfallenden Sonnenstrahlung. Der Ozean ist dunkel und hat deswegen eine Albedo von unter 10%.

ANPASSUNG – Die Anpassung an bestehende oder zu erwartende Auswirkungen des Klimawandels. In menschlichen Systemen zielt die Anpassung darauf ab, Risiken zu reduzieren, Widerstandsfähigkeit zu erhöhen oder durch den Klimawandel bedingte günstige Gelegenheiten auszunutzen. Beispiel: Durch den tauenden Permafrostboden in der Arktis wird die landwirtschaftlich nutzbare Fläche größer.

ANTHROPOGENE TREIBHAUSGASEMISSIONEN – Treibhausgasemissionen, die durch menschliche Aktivitäten – wie Entwaldung, die Verbrennung fossiler Brennstoffe, Industrie und Landwirtschaft – verursacht werden.

CO₂-AUFNAHME – Alle Prozesse, die zur Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre beitragen. CO₂ kann sich zum Beispiel im Meerwasser auflösen oder es kann von Pflanzen aufgenommen werden (durch Photosynthese) und anschließend im Boden gespeichert werden.

EISSCHILD – Eine sehr große und dicke Schicht aus mehrjährigem Eis auf einem Kontinent. Es gibt zwei Eisschilde auf unserem Planeten: der Antarktische Eisschild und der Grönländische Eisschild.

EMISSIONSPFADE – Mit Emissionspfad bezeichnet man einen möglichen zukünftigen Verlauf der von uns Menschen emittierten Treibhausgasmenge. Jeder Emissionspfad repräsentiert ein bestimmtes Zukunftsszenario. In seinen Bildungsmaterialien berücksichtigt das OCE meistens die vom IPCC verwendeten Emissionspfade RCP2.6 und RCP8.5 (RCP steht für Representative Concentration Pathways).

EXTREME EREIGNISSE – Ungewöhnliche natürliche Ereignisse, die sich negativ auf Mensch und Natur auswirken: Wirbelstürme, Stürme, Erdbeben, Waldbrände, Dürren und Hitzewellen.

GERECHTIGKEIT – Wenn alle die gleichen Chancen haben: Bildung, Gesundheit, Rechte usw. Im Kontext des Klimawandels bedeutet Gerechtigkeit eine gerechte Aufteilung der Lasten und Chancen der Auswirkungen des Klimawandels.

GLETSCHER – Eine große Eismasse an Land, die sich langsam bergab bewegt.

GLOBALE ERWÄRMUNG – Siehe Klimawandel.

HITZEWELLE – Ein Zeitabschnitt mit ungewöhnlich heißem Wetter, mit hohen Tagestemperaturen und nur wenig oder keiner Abkühlung in der Nacht. Eine Hitzewelle kann mehrere Wochen andauern.

INDUSTRIELLE REVOLUTION – Historischer Zeitabschnitt zwischen 1760 und den 1840ern. Er kennzeichnet den Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft. Die industrielle Revolution begann in Europa und den Vereinigten Staaten und führte zu einer schnellen Entwicklung der Produktivität, der Technologie, der Dienstleistungen und der Wissenschaft. Das führte zu einem Bevölkerungswachstum und einer damit verbundenen Erhöhung der Treibhausgasemissionen.

INFRAROTSTRAHLUNG – Infrarotstrahlung ist der unsichtbare Teil des Lichts, den wir als Wärme wahrnehmen. Sie spielt beim Treibhauseffekt eine wichtige Rolle.

INVASIVE ARTEN – Arten, die es an einem bestimmten Ort normalerweise nicht gibt bzw. ursprünglich nicht gab. Wenn sich invasive Arten stark verbreiten, können sie der Umwelt und unserer Gesundheit schaden.

KASKADENEFFEKTE – Unvermeidbare und teilweise unvorhergesehene Ereignisketten aufgrund einer Handlung, die sich auf Teile des Klimasystems auswirkt. Diese Kaskadeneffekte haben normalerweise negative Auswirkungen.

KIPP-PUNKT – Der Punkt, an dem eine Reihe kleiner Veränderungen oder Ereignisse bedeutend genug wird, um größere, bedeutendere Veränderungen hervorzurufen.

KLIMA – Ein durchschnittliches Muster von Wetterbedingungen – Temperatur, Niederschlag, Feuchtigkeit, Wind, Luftdruck – in einer bestimmten Region über einen langen Zeitraum hinweg (Monate, Jahre, Jahrzehnte, Jahrhunderte oder mehr).

KLIMAGERECHTIGKEIT – Dieser Begriff beschreibt die soziale und politische Dimension der Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Es geht dabei um die Unterschiede zwischen den Menschen und Ländern, die stärker zum Klimawandel beitragen, und denjenigen, die verstärkt von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind.

KLIMASCHUTZ – Menschliches Eingreifen, um die globale Erwärmung einzudämmen. Ziel ist es, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und Treibhausgassinken zu vergrößern.

KLIMASYSTEM – Das Klima ist ein komplexes und dynamisches System, dessen Hauptenergiequelle die Sonne ist. Das Klimasystem wird durch zahlreiche Faktoren bestimmt, die miteinander wechselwirken und sich gegenseitig beeinflussen: die Atmosphäre, der Ozean, die Kryosphäre, die Landoberfläche und die Biosphäre.

KLIMAWANDEL – Der Klimawandel bezeichnet Veränderungen des globalen Klimasystems: Veränderungen der Temperatur und des Niederschlags, extreme Ereignisse, Anstieg des Meeresspiegels und Ozeanversauerung. Der Begriff wird vor allem verwendet, um den menschengemachten Klimawandel zu beschreiben, der mit Beginn der industriellen Revolution eingesetzt hat. Der Klimawandel verursacht die Erderwärmung. Es wird auch der Begriff „globale Erwärmung“ benutzt.

KOHLensäURE (H₂CO₃) – Kohlensäure entsteht, wenn sich Kohlenstoffdioxid (CO₂) in Wasser auflöst. Dadurch steigt der Säuregehalt des Wassers.

KOHLSTOFFDIOXID (CO₂) – Ein Gas, das bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Verbindungen (z. B. fossilen Brennstoffen oder Holz) erzeugt wird. Es entsteht auch durch die Atmung von Lebewesen. CO₂ trägt zum Treibhauseffekt und zur Versauerung der Ozeane bei.

KOHLSTOFFSENKE – Natürliches Reservoir, in dem kohlenstoffhaltige Materie dauerhaft gespeichert wird. Kohlenstoffsenken tragen zur Reduzierung der CO₂-Menge in der Atmosphäre bei. Beispiele für Kohlenstoffsenken sind Böden und der Ozean, außerdem Pflanzen an Land und im Wasser und Phytoplankton, die mit Sonnenenergie durch Photosynthese atmosphärisches in CO₂ Kohlenstoffverbindungen umwandeln.

KONTINENTALEIS – Kontinentaleis umfasst alle Eismassen an Land wie zum Beispiel Gletscher und Eisschilde. Nicht dazu zählen Schnee, Permafrost und Meereis. Kontinentaleis entsteht durch die Ansammlung und Verdichtung von Schnee über einen langen Zeitraum hinweg. Oft wird auch der Begriff Inlandeis verwendet.

KRYOSPHERE – Eis und Schnee auf der Erde – sowohl an Land als auch im Wasser: Gletscher, Eisschilde, Meereis, Schnee, Permafrost, gefrorene Seen und Flüsse.

KÜSTENEROSION – Durch die Einwirkung von Wind, Wellen und Strömungen werden an den Küsten Sand und Fels abgetragen, was zu Landverlust führt. Die Küstenerosion kann durch menschliche Aktivitäten sowie durch den Klimawandel (vor allem durch den Anstieg des Meeresspiegels und zunehmenden Niederschlag) verstärkt werden.

KÜSTENÖKOSYSTEME – Küstenökosysteme entstehen dort, wo Land auf Wasser trifft. In diesen Gebieten kann es zu einer Mischung aus Süß- und Salzwasser kommen, was eine einzigartige Umgebung schafft, mit einer speziellen Struktur und Artenvielfalt. Zu den Küstenökosystemen zählen Salzwiesen, Mangroven, Seegraswiesen, Flussmündungen und Buchten.

MARINE HITZEWELLE – Wenn die Ozeantemperatur über einen längeren Zeitraum ungewöhnlich hoch ist.

MEEREIS – Gefrorenes Meerwasser, das auf der Ozeanoberfläche schwimmt.

MEERESSPIEGELANSTIEG – Der weltweite Anstieg des mittleren Meeresspiegels, verglichen mit dem Meeresspiegel in vorindustrieller Zeit.

MEERESSTRÖMUNG – Eine Bewegung von Wassermassen durch den Ozean. Warme und kalte Strömungen verteilen Wärme rund um den Planeten.

NACHHALTIGE ENTWICKLUNG – Entwicklung, die den Bedürfnissen der Gegenwart gerecht wird, ohne zukünftigen Generationen die Möglichkeit zu rauben, ihre eigenen Bedürfnisse zu erfüllen.

NACHHALTIGKEITSZIELE (SDGs) – Die Vereinten Nationen (UNO) haben dazu aufgerufen, bis 2030 die weltweite Armut zu beenden, unseren Planeten zu schützen und sicherzustellen, dass alle Menschen in Frieden und Wohlstand leben. 2015 hat die UNO daher 17 Nachhaltigkeitsziele (engl.: Sustainable Development Goals = SDGs) definiert, die von allen 193 Mitgliedsstaaten angenommen wurden:

(1) keine Armut, (2) kein Hunger, (3) Gesundheit und Wohlergehen, (4) hochwertige Bildung, (5) Geschlechtergleichheit, (6) sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen, (7) bezahlbare und saubere Energie, (8) menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum, (9) Industrie, Innovation und Infrastruktur, (10) weniger Ungleichheiten, (11) nachhaltige Städte und Gemeinden, (12) nachhaltige/r Konsum und Produktion, (13) Maßnahmen zum Klimaschutz, (14) Leben unter Wasser, (15) Leben an Land, (16) Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen, (17) Partnerschaften zur Erreichung der Ziele.

NATÜRLICHE VARIABILITÄT – Variationen im Klimasystem, die nicht auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind. Zum Beispiel ist ‚El Niño‘ ein Phänomen, das alle paar Jahre auftritt, während der Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten auf einer Zeitskala von Jahrtausenden geschieht.

ÖKOSYSTEMDIENSTLEISTUNGEN – Menschen profitieren direkt und indirekt von ihrer natürlichen Umgebung (den Ökosystemen). Beispiele: Ökosysteme produzieren Sauerstoff (durch Photosynthese) und Nahrung, und versorgen uns mit Rohstoffen. Ökosysteme erhalten die Bodenfruchtbarkeit (mittels Mikroorganismen und Pilzen), sorgen für die Befruchtung von Pflanzen (durch Bestäubung) und schützen die Küsten (durch intakte Korallenriffe und Mangroven). Wir brauchen die Ökosysteme zur Erholung und für unsere Freizeitaktivitäten. Außerdem haben sie für uns Menschen eine kulturelle und spirituelle Bedeutung.

OZEANOBERFLÄCHENTEMPERATUR – Die durchschnittliche Wassertemperatur in einer Tiefe zwischen 1 mm und 20 m (je nach Messmethode).

OZEANVERSAUERUNG – Ein Anstieg des Säuregehalts des Meerwassers – verursacht durch CO₂ aus der Atmosphäre, das sich im Oberflächenwasser des Ozeans auflöst. Wenn CO₂ mit Wasser reagiert, wird das Wasser saurer.

PERMAFROST – Boden, Gestein oder Sediment, das ständig gefroren ist (in mindestens zwei aufeinanderfolgenden Jahren).

pH – Der pH ist ein Maß für den Säuregrad oder die Alkalinität einer Lösung. Die pH-Skala geht von 0 bis 14 (7 ist neutral). Ein niedriger pH-Wert zeigt eine saure Lösung an, ein hoher pH-Wert eine alkalische Lösung.

PRIMÄRPRODUKTION – Primärproduktion im Ozean ist der Prozess, bei dem Primärproduzenten wie Pflanzen, Phytoplankton und Algen durch Photosynthese aus CO₂, Wasser, Mineralstoffen und Licht organische Materie produzieren.

STRATIFIKATION (IM OZEAN) – Wasserschichten mit unterschiedlichen Eigenschaften: Salzgehalt des Wassers (Salinität), Sauerstoffgehalt, Dichte und/oder Temperatur. Wassermassen mit unterschiedlichen Eigenschaften vermischen sich nicht. Das führt dazu, dass es in manchen Bereichen des Ozeans an Nährstoffen oder Sauerstoff fehlt, mit entsprechenden Konsequenzen für marine Lebewesen.

STURMFLUT – Besonders hohes Hochwasser infolge von Wind und atmosphärischen Druckveränderungen aufgrund eines Sturms.

THERMISCHE TRÄGHEIT – Die Eigenschaft von Materie, sich der Temperatur ihrer Umgebung anzunähern. Je langsamer dieser Vorgang ist, desto höher ist die thermische Trägheit. Beispiel: Die Atmosphäre erwärmt sich schneller als der Ozean – das bedeutet, dass der Ozean eine größere Trägheit hat als die Atmosphäre.

TRANSFORMATION – Im Hinblick auf den Klimawandel und seine Auswirkungen: Anpassungsmaßnahmen, durch die grundlegende Merkmale eines Systems verändert werden.

TREIBHAUSEFFEKT – Sonnenstrahlung durchquert die Atmosphäre, wird von der Erdoberfläche absorbiert und erwärmt diese. Die aufgenommene Sonnenstrahlung wird in Infrarotstrahlung (Wärme) umgewandelt. Ein Teil dieser Infrarotstrahlung wird bei ihrem Weg in Richtung Weltall von Treibhausgasen eingefangen und zurück zur Erdoberfläche geschickt. Dadurch wird die Erdoberfläche noch weiter erwärmt. Das erklärt die Erderwärmung, die wir seit etwa anderthalb Jahrhunderten beobachten: Je mehr Treibhausgase in der Atmosphäre, desto stärker ist der Treibhauseffekt.

TREIBHAUSGAS – Treibhausgase verursachen den Treibhauseffekt. Die wichtigsten Treibhausgase sind Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas und Ozon.

VULNERABILITÄT – Die Empfindlichkeit einer Bevölkerung oder menschlicher Infrastruktur gegenüber den Gefahren des Klimawandels. Beispiel: Eine niedrigliegende Region mit gutem Küstenschutz ist weniger vulnerabel gegenüber dem Meeresspiegelanstieg als eine niedrigliegende Region ohne Küstenschutz (bzw. ohne finanzielle Mittel für Küstenschutz).

WÄRMEAUDEHNUNG – Zunahme des Volumens eines Körpers (oder einer Flüssigkeit oder eines Gases) aufgrund des Anstiegs seiner Temperatur. Im Hinblick auf den Klimawandel: Wenn der Ozean wärmer wird, dehnt er sich aus und nimmt mehr Platz ein. Das führt zu einem Anstieg des Meeresspiegels.

WETTER – Der Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Das Wetter wird durch zahlreiche Variablen beschrieben, wie etwa die Temperatur, der Niederschlag, die Wolkendichte oder die Windstärke und -richtung.



WISSENSCHAFTLICHE DOKUMENTATION ÜBER DEN OZEAN, DIE KRYOSPHERE UND DAS KLIMA

Auf Deutsch:

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI): Ozeanversauerung, fact sheets zum Klimawandel in den verschiedenen Regionen der Welt (Arktis, Südpolarmeer, Europa, Nordsee, ...)

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

Deutsche Koordinierungsstelle des IPCC: Informationen zum IPCC-Sonderbericht „Der Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima“

<https://www.de-ipcc.de/252.php>

Deutsches Klimakonsortium: Worum geht es beim IPCC-Bericht über Ozean und Kryosphäre? Hintergründe aus der Klimaforschung

<https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/klimafruehstueck-srocc.html>

GEOMAR – BIOACID – Biologische Auswirkungen von Ozeanversauerung

<https://www.oceanacidification.de/>

Hamburger Bildungsserver: Zahlreiche Seiten (mit sehr vielen Diagrammen) zum Thema Klimawandel

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/>

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: Leitfaden für die Vermittlung des Themas Klimawandel im Bildungskontext

https://www.pik-potsdam.de/forschung/klimaresilienz/projekte/projektseiten/pikee/LeitfadenPIKee_2016.pdf

World Ocean Review: Arktis und Antarktis – extrem, klimarelevant, gefährdet

<https://worldoceanreview.com/de/wor-6/>

Umweltbundesamt: Poster „Ozean und Kryosphäre im Klimawandel“

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ozean-kryosphaere-im-klimawandel>

Auf Englisch:

IPCC-Sonderbericht „The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate“

www.ipcc.ch/srocc

NASA – Globaler Klimawandel: Grafiken und Multimedia
<https://climate.nasa.gov/resources/graphics-and-multimedia>

National Snow and Ice Data Center: Satellitenbilder und Daten zu Veränderungen des Meereises in der Arktis und Antarktis
https://nsidc.org/data/seaice_index/

BILDUNGSMATERIALIEN DES OCE

Das Klima in unseren Händen – Ozean und Kryosphäre – Lehrerhandbuch für die Klassenstufen 5 bis 10
<https://www.oce.global/de/resources/aktivitaeten-fuer-die-klasse>

IPCC-Berichte – Zusammenfassungen für Lehrende:
<https://www.sonnentaler.net/dokumentation/ipcc-berichte/>

CLIM - Bildungsvideos zum Thema Ozean und Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima
<https://www.oce.global/de/resources/videos>

Professionelle Entwicklung von Lehrenden
<https://www.oce.global/de/resources/weiterbildung>

WEITERE BILDUNGSMATERIALIEN (AUF ENGLISCH)

Dublin City University, Bildungsinstitut: Trócaire und das Centre for Human Rights and Citizenship Education (Zentrum für Menschenrechte und Bürgerbildung): „Creating Futures“, erstellt als Teil der „Education for a Just World“-Initiative
www.trocaire.org/getinvolved/education/creating-futures

Eco-schools – Berichte und Neuigkeiten über Nachhaltigkeitsprojekte in Schulen
www.ecoschools.global/stories-news

La main à la pâte – The ocean, my planet and me: Ein Unterrichtsmodul für Klassen der Primarstufe und der unteren Sekundarstufe
www.fondation-lamap.org/en/20322/the-ocean-my-planet-and-me

NASA Climate Kids
<https://climatekids.nasa.gov>

National Oceanic and Atmospheric Administration: Klima unterrichten, Factsheets, Unterrichtspläne, Fallstudien usw.
<https://oceanservice.noaa.gov/education/pd/climate/welcome.html>

The Sandwatch Foundation – Ein Netzwerk von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen, die zusammenarbeiten, um ihren Strand und seine Umgebung zu verbessern und widerstandsfähig gegenüber dem Klimawandel zu machen
www.sandwatchfoundation.org

TROPICSU – Climate Change Education Across the Curricula, Across the Globe: Materialien für Lehrende der Sekundarstufe
<https://tropicsu.org/un-resources/>

INTERAKTIVE SIMULATIONEN – FÜR DIE SEKUNDARSTUFE (AUF ENGLISCH)

En-ROADS: Mit dem Simulator kann man z. B. verfolgen, wie sich die globale Temperatur ändert, wenn man an wichtigen Stellschrauben dreht – etwa an der Zusammensetzung der Energieversorgung, dem CO₂-Preis, der Weltbevölkerung, dem Wirtschaftswachstum, der Entwaldung bzw. der Wiederaufforstung usw.
<https://www.climateinteractive.org/tools/en-roads/>

University of Colorado – Simulation des Treibhauseffektes
<https://phet.colorado.edu/en/simulation/greenhouse>

University of Manchester – Build your own Earth
www.buildyourownearth.com

„Die Parteien sollten Maßnahmen ergreifen [...], um die Klimabildung zu verbessern“, heißt es in Artikel 12 des Klima-Abkommens von Paris. „Die heutigen und zukünftigen Generationen über den Klimawandel aufzuklären und sie zu lehren, mit kritischem Verstand und hoffnungsvollen Herzens zu handeln, ist für die Zukunft der Menschheit von entscheidender Bedeutung. Der naturwissenschaftliche Unterricht muss sich der Herausforderung stellen [...]“, so empfehlen es die 113 wissenschaftlichen Akademien der Welt in ihrer jüngsten Erklärung zu Klimawandel und Bildung.

Diesem dringenden Aufruf folgend, haben Klimawissenschaftler und Pädagogen das **Office for Climate Education (OCE)** gegründet. Lehrerinnen und Lehrer sind der Schlüssel zur Umsetzung dieser Empfehlungen. Das OCE erstellt deshalb Bildungsressourcen speziell für die Schule. Diese Bildungsressourcen basieren auf einer aktiven Pädagogik und bauen auf

bereits bestehenden Pilotprojekten auf, die forschend-entdeckendes Lernen in den Vordergrund stellen.

So wie das IPCC „Sachstandsberichte“ und „Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger“ erstellt, wird das OCE zeitgleich „Ressourcen und Werkzeuge für Lehrende“ erstellen, insbesondere zu den Themen Anpassung und Klimaschutz. Das OCE setzt einen besonderen Fokus auf Entwicklungsländer. Es arbeitet eng mit Klimawissenschaftlern, Sozialwissenschaftlern und Pädagogen zusammen.

Das OCE hat ein Exekutivsekretariat in Paris und wird von einem globalen Netzwerk von Partnern in über 20 Ländern unterstützt. Die Lehrmaterialien werden gemeinsam konzipiert und anschließend vor Ort getestet und an besondere Kontexte angepasst. Es gibt bereits zahlreiche Initiativen, die in diese

Richtung gehen – das OCE sammelt und verbreitet diese Initiativen.

Das Office for Climate Education wurde 2018 mit Unterstützung öffentlicher und privater Mittel französischer und deutscher Partner gegründet. Das OCE wird in den kommenden Jahren seine Aktivitäten ausweiten und seine Partnerschaften ausbauen, insbesondere mit dem IPCC und dem InterAcademy Panel for Science (IAP), dem Zusammenschluss weltweiter Wissenschaftsakademien.

<http://oce.global>
contact@oce.global
Office for Climate Education
Institut Pierre-Simon Laplace,
Case 101
4, place Jussieu
75252 Paris Cedex 05
Frankreich

UNTER DER SCHIRMHERRSCHAFT VON



Under the auspices of
UNESCO



Das 2018 auf Initiative der Stiftung *La main à la pâte* und der Klimawissenschaftler-Community gegründete Office for Climate Education (OCE) hat sich zum Ziel gesetzt, weltweit die Klimabildung zu fördern und Lehrende zu unterstützen. Seit 2020 ist das OCE ein Zentrum unter der Schirmherrschaft der UNESCO.

GRÜNDUNGSMITGLIEDER



MIT DER UNTERSTÜTZUNG VON



SIEMENS | Stiftung

