



DAS KLIMA IN UNSEREN HÄNDEN

KLIMAMODELLE

Lehrerhandbuch für die Klassenstufen
10 bis 13



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Office for
Climate
Education

UNDER THE AUSPICES OF UNESCO
AND THE FOUNDATION LA MAIN À LA PÂTE



DAS KLIMA IN UNSEREN HÄNDEN

Klimamodelle

Lehrerhandbuch für die Klassenstufen 10 bis 13

Dieses Dokument sollte wie folgt zitiert werden: „**Das Klima in unseren Händen – Klimamodelle, Lehrerhandbuch für die Klassenstufen 10 bis 13, Office for Climate Education (OCE), Paris, 2024**“.

Koordinator

Nicolas Vogt (OCE, Frankreich)

Autor:innen

Adeline Aroskay (OCE, Frankreich)

Mathieu Hirtzig (Frankreich)

Simon Klein (OCE, Frankreich)

Jessica Vial (OCE, Frankreich)

Nicolas Vogt (OCE, Frankreich)

Lektorat und Inspiration

Nada Caud (IPCC WG1 TSU, Frankreich)

Natalie Chong (OCE, Frankreich)

Cruz García Molina (Institut des Géosciences de l'Environnement, CNRS, Frankreich)

Hazel Jeffery (National Centre for Atmospheric Science, Großbritannien)

Colin Jones (MET Office, Großbritannien)

Valentin Maron (INSPÉ Toulouse, EFTS, Frankreich)

Cliona Murphy (Institute of Education, Dublin City University, Irland)

Natalie Nicetto (OCE, Frankreich)

Eva Perrier Ponsin (OCE, Frankreich)

Micol Picasso (OCE, Frankreich)

Mariana Rocha (Météo-France, CNRM, Frankreich)

Anwar Bhai Rumjaun (Mauritius Institute of Education, Mauritius)

Djian Sadadou (OCE, Frankreich)

Jenny Schlüpmann (Freie Universität Berlin, Deutschland)

Roland Séférian (Météo-France, CNRM, Frankreich)

Sally Soria-Dengg (GEOMAR, Deutschland)

Robin Waldman (Météo-France, CNRM, Frankreich)

David Wilgenbus (OCE, Frankreich)

Layout und Bildgestaltung: Mareva Sacoun

Layout der deutschen Version: Amandine Masson und Virginie Poilièvre

Übersetzung ins Deutsche: Jenny Schlüpmann (Freie Universität Berlin)

Eine vollständige Liste der zahlreichen Personen, die an diesem Handbuch mitgewirkt haben – Lektorat, Vorschläge, Erprobung der Unterrichtseinheiten in Schulen usw. – ist im Abschnitt „Danksagungen“ auf Seite 83 zu finden.

Erprobung der Materialien in der Schule

Wir danken den Lehrer:innen und Schüler:innen, die die Aktivitäten getestet und uns ihr Feedback gegeben haben. An der Erprobung der Materialien waren über 100 junge Menschen in ganz Europa beteiligt. Wir hoffen, dass es noch viele mehr werden!

Veröffentlichung der deutschen Version

Oktober 2025

Informationen

Informationen zur Arbeit des Office for Climate Education sowie weitere Ausgaben dieses Handbuchs (englische, französische und spanische Version) sind erhältlich beim:

Office for Climate Education

Sorbonne-Université

4 Place Jussieu, 75005 Paris – Frankreich

E-mail: contact@oce.global

Webseite: <https://www.oce.global>

Copyright

Dieses Werk wurde vom Office for Climate Education unter folgender Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht. Es darf frei verbreitet, genutzt und angepasst werden, allerdings nicht für kommerzielle Zwecke.





ERDSYSTEMMODELLE FÜR DIE ZUKUNFT

ESM2025 ist ein ehrgeiziges europäisches Projekt, das von Météo-France – Centre National de Recherches Météorologiques koordiniert wird. ESM2025 stützt sich auf ein internationales Team aus 19 europäischen Forschungsinstituten und einer australischen Universität. ESM2025 stärkt die internationale Zusammenarbeit bei der Erdsystemmodellierung, indem es fünf europäische Erdsystemmodelle (ESM) in einem Projekt zusammenführt: Die ESM des Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), des Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) und des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M) sowie das norwegische Erdsystemmodell (NorESM) und das britische Erdsystemmodell (UKESM).

Ziel des Projekts ist die Entwicklung der nächsten Generation von Erdsystemmodellen, die relevante Klimasimulationen für die Umsetzung ehrgeiziger und realistischer Klimaschutz- und Anpassungsstrategien liefern werden. Mit einem verbesserten Satz von Klimaprojektionen wird ESM2025

die europäischen Klima- und Wetterdienste und die IPCC-Sachstandsberichte unterstützen. Unter Einbeziehung der wichtigsten Interessengruppen wird ESM2025 einschlägige wissenschaftliche Erkenntnisse und Leitlinien bereitstellen. Diese werden dazu beitragen, starke politische Strategien zu entwickeln, die für gesellschaftliche Veränderungen erforderlich sind, die zu einer künftigen kohlenstofffreien und klimaresilienten Gesellschaft führen werden.

Schließlich möchte ESM2025 mit Bildungs- und pädagogische Ressourcen auch speziell die jüngere Generation ansprechen. Junge europäische Bürger:innen sollen befähigt werden, das Verständnis für den Klimawandel und die damit zusammenhängenden Themen in der Öffentlichkeit zu verbessern sowie den gesellschaftlichen Wandel voranzutreiben, der für die Erreichung der Ziele des Pariser Abkommens notwendig ist.



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Office for
Climate
Education

UNDER THE AUSPICES OF UNESCO
AND THE FOUNDATION LA MAIN À LA PÂTE

DAS OFFICE FOR CLIMATE EDUCATION

Das 2018 auf Initiative der Stiftung *La main à la pâte* und der Gemeinschaft der Klimawissenschaftler:innen gegründete Office for Climate Education (OCE) hat sich als Ziel gesetzt, eine starke internationale Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen, NGOs und Bildungseinrichtungen zu organisieren. Diese Zusammenarbeit ist wichtig, um heutige und zukünftige Generationen über den Klimawandel aufzuklären.

Die Aufgabe des OCE und seiner Partner besteht darin, die Klimabildung weltweit zu fördern, und zwar durch qualitativ hochwertige Unterrichtsmaterialien, Weiterbildung und die Umsetzung nationaler und internationaler operativer Projekte. Im Jahr 2020 wurde das Office for Climate Education ein UNESCO-

Zentrum der Kategorie 2, um die Klimabildung international zu fördern und sich dabei insbesondere auf Schwellenländer zu konzentrieren.

Im Rahmen des ESM2025-Projekts entwickelt das OCE kostenlose, mehrsprachige und freie Ressourcen, die im Unterricht erprobt worden sind: Multimedia-Animationen, Handbücher für Lehrende, Serious Games und Weiterbildungsleitfäden für Ausbilder:innen. Das OCE organisiert außerdem zusammen mit Météo-France Fortbildungskurse für Lehrer:innen und Ausbilder:innen aus ganz Europa (Climate Education Summer University) sowie Klimathons.

INHALTSVERZEICHNIS

5	EINLEITUNG	
	Inhalt dieses Handbuchs	5
	Methodik des Handbuchs	8
	Klimawandel unterrichten	9
10	UNTERRICHTSEINHEIT A - DAS KLIMASYSTEM DER ERDE	
	Unterrichtsstunde 1 – Die Komponenten des Klimasystems	10
	Unterrichtsstunde 2 – Die Gesetze der Physik	20
	Unterrichtsstunde 3 – Klimamodell-Brettspiel	30
44	UNTERRICHTSEINHEIT B - KLIMAMODELLIERUNG	
	Unterrichtsstunde 4 – Modelle, um die Realität darzustellen	44
	Unterrichtsstunde 5 – Klimamodelle werden genauer	48
	Unterrichtsstunde 6 – Validierung numerischer Modelle	52
63	UNTERRICHTSEINHEIT C - KLIMAMODELLE ZUR VORHERSAGE DER ZUKUNFT	
	Unterrichtsstunde 7 – Szenarien konstruieren und die Reaktion der Modelle beobachten	63
	Unterrichtsstunde 8 – Städtische Wärmeinseln	70
	Unterrichtsstunde 9 – Zukunftskompetenzen	77
81	GLOSSAR	
83	DANKSAGUNGEN	
84	BILDNACHWEISE	

EINLEITUNG

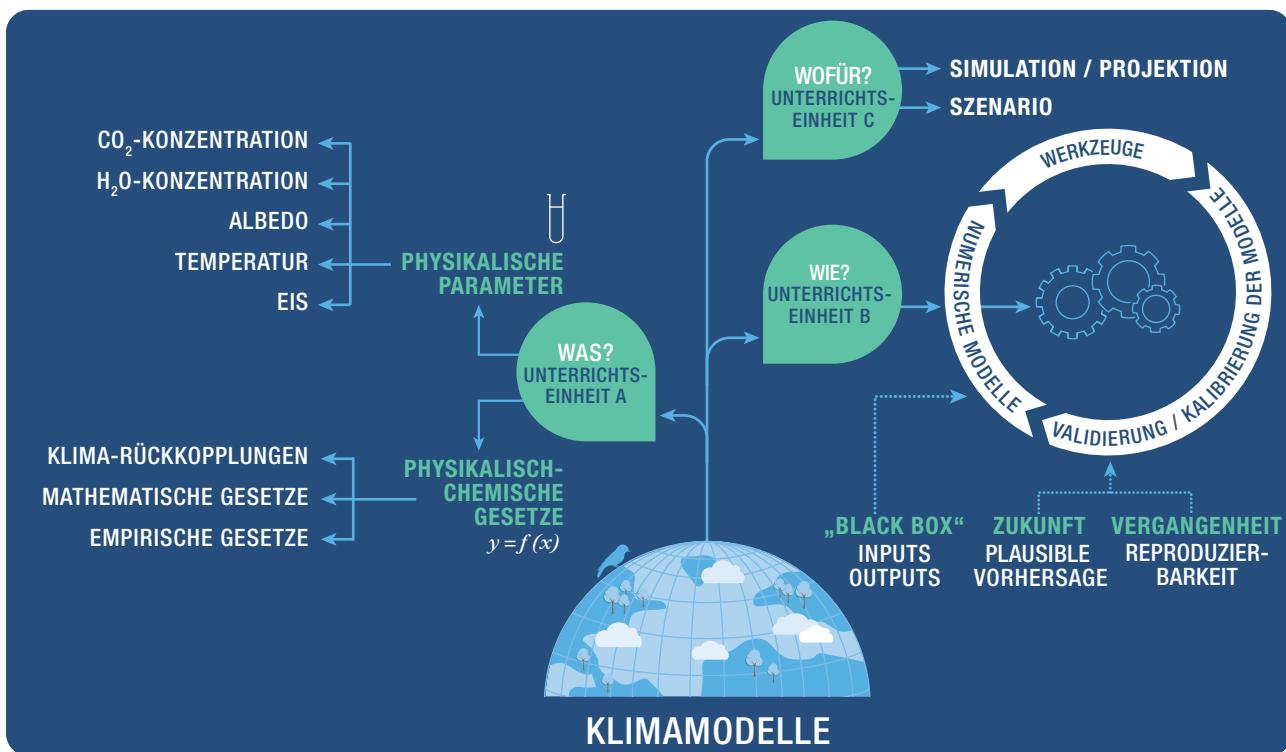
Inhalt dieses Handbuchs

LERNZIELE

Die Schüler:innen lernen:

- zwischen Wetter und Klima zu unterscheiden;
- einige der von Klimawissenschaftler:innen untersuchten Parameter und Indizien für den Klimawandel aufzuzählen;
- aufzuzeigen, dass die derzeitige Erderwärmung auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist und zu zahlreichen Klimastörungen führt;
- die Komplexität des Klimasystems der Erde zu verstehen;
- anhand eines einfachen numerischen Modells den Zusammenhang zwischen Treibhausgasemissionen, Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre und globalen Klimaveränderungen zu erklären;
- die Projektionen des IPCC zu verstehen;
- zwischen Klimaschutz und Anpassung zu unterscheiden sowie zwischen positiven und negativen Nebeneffekten im Hinblick auf die UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung.

KONZEpte, DIE IN DIESEM HANDBUCH BEHANDELT WERDEN



Satellitenbild der Erde mit ihrer Wolkenschicht, einer der grundlegenden Komponenten des Klimasystems der Erde.

UNTERRICHTSPLAN: DREI AUFENANDER AUFBAUENDE UND KOMPLEMENTÄRE UNTERRICHTSEINHEITEN

WAS?

UNTERRICHTSEINHEIT A DAS KLIMASYSTEM DER ERDE

1

Die Bestandteile des Klimasystems

Die Schüler:innen erkunden noch einmal alle Indizien, die darauf hinweisen, dass es den Klimawandel gibt. Sie zählen alle physikalischen Parameter auf, die bei der Bekämpfung des Klimawandels untersucht werden sollten: Eisausdehnung und Eisdicke, Niederschlag, CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und im Meer, Oberflächentemperatur, Albedo, Treibhausgase usw.).

2

Die Gesetze der Physik

Die Schüler:innen führen Experimente mit einigen der oben erwähnten Parameter durch, um zu verstehen, dass jeder Parameter von mehreren anderen abhängt. Diese Abhängigkeit kann man als mathematische Funktion darstellen.

3

Mit einem Brettspiel das Klima modellieren

Die Schüler:innen stellen eine Verbindung zwischen klimatischen Bedingungen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten her.

WIE?

UNTERRICHTSEINHEIT B KLIMAMODELLIERUNG

4

Modelle, um die Realität darzustellen

Die Schüler:innen lernen einige Begriffe der Modellierung kennen: Input, Stichprobe (Sampling) und Output. Sie verändern einen vorgegebenen Python-Code, um sich zu überzeugen, dass eine Änderung der Eingaben (Inputs) Auswirkungen auf die Ausgaben (Outputs) hat.

5

Klimamodelle werden genauer

Sie verstehen die Analogie zwischen der Entwicklung eines Videospiels und der Entwicklung eines Modells.

6

Validierung numerischer Modelle

Die Schüler:innen entdecken, wie man die Zuverlässigkeit numerischer Modelle bewerten kann: Reproduzierbarkeit vergangener Ereignisse oder Vorhersage plausibler zukünftiger Ereignisse.

WOFÜR

UNTERRICHTSEINHEIT C KLIMAMODELLE ZUR VORHERSAGE DER ZUKUNFT

7

Szenarien konstruieren und die Reaktion der Modelle beobachten

Das Modell der Kuhmilchproduktion: Die Schüler:innen treffen Entscheidungen, um Projektionen zu konstruieren und zu untersuchen.

8

Städtische Wärmeinseln

Mithilfe einer Multimedia-Animation verstehen die Schüler:innen, was städtische Wärmeinseln sind. Sie unterscheiden zwischen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen sowie zwischen Nachteilen und Vorteilen im Hinblick auf die UN-Nachhaltigkeitsziele.

9

Zukunftskompetenzen

Die Schüler:innen wenden eines der Szenarien aus der Unterrichtsstunde 8 auf ihre eigene Stadt an und erfinden wünschenswerte und realistische Geschichten über die Zukunft.



TABELLE DER IN DIESEM HANDBUCH VERWENDETEN KOMPETENZEN (BASIEREND AUF GREENCOMP¹)

BEREICH 1 VERANKERUNG VON NACHHALTIGKEITSWERTEN

GREENCOMP	BESCHREIBUNG	STUNDE
1.1 Wertschätzung der Nachhaltigkeit	Über persönliche Werte nachdenken; erkennen und erklären, wie sich Werte von Mensch zu Mensch und im Laufe der Zeit verändern, und dabei kritisch bewerten, wie sie mit den Werten der Nachhaltigkeit übereinstimmen. Beispiel: Über die Auswirkungen eines Wochenendausflugs nachdenken.	7
1.2 Unterstützung der Gerechtigkeit	Gleichheit und Gerechtigkeit für heutige und künftige Generationen fördern; von früheren Generationen etwas über Nachhaltigkeit lernen. Beispiel: Initiativen gegen die Abholzung von Wäldern.	9
1.3 Förderung der Natur	Sich bewusst werden, dass der Mensch Teil der Natur ist; die Bedürfnisse und Rechte anderer Arten und der Natur selbst respektieren, um gesunde und widerstandsfähige Ökosysteme zu erhalten bzw. wiederherzustellen. Beispiel: Nutzung von Bildungsmaterialien, um zu verstehen, wie die Natur funktioniert.	1 - 7

BEREICH 2 KOMPLEXITÄT DER NACHHALTIGKEIT

GREENCOMP	BESCHREIBUNG	STUNDE
2.1 Systemorientiertes Denken	Sich einem Nachhaltigkeitsproblem von allen Seiten nähern; Zeit, Raum und Kontext berücksichtigen, um zu verstehen, wie Elemente innerhalb und zwischen Systemen interagieren. Beispiel: Die Produktion von Biokraftstoffen und der verstärkte Wettbewerb um Landflächen.	1 - 3 - 6
2.2 Kritisches Denken	Informationen und Argumente bewerten, Vermutungen erkennen, den Stand der Dinge infrage stellen und darüber nachdenken, wie der eigene soziale und kulturelle Hintergrund das Denken und die Schlussfolgerungen beeinflusst. Beispiel: Kritisches Verständnis der mit dem Massenverkauf von Elektroautos verbundenen Probleme.	3 - 6
2.3 Problemformulierung	Aktuelle oder potenzielle Herausforderungen als Nachhaltigkeitsproblem formulieren: Welches sind die Schwierigkeiten, die beteiligten Personen, die zeitliche und geografische Reichweite? Die Beantwortung dieser Fragen ist wichtig, um geeignete Ansätze zur Antizipation und Vermeidung von Problemen sowie zum Klimaschutz und zur Anpassung an bereits bestehende Probleme zu ermitteln. Beispiel: Kontroversen aufzudrängen machen.	2 - 5

BEREICH 3 VISIONEN FÜR EINE NACHHALTIGE ZUKUNFT

GREENCOMP	BESCHREIBUNG	STUNDE
3.1 Zukunftskompetenz	Sich eine alternative nachhaltige Zukunft vorstellen, indem man sich alternative Szenarien ausdenkt und entwickelt und die Schritte identifiziert, die notwendig sind, um eine bestimmte nachhaltige Zukunft zu erreichen. Beispiel: Schreibwerkstatt.	9
3.2 Anpassungsfähigkeit	Veränderungen und Herausforderungen in komplexen Nachhaltigkeitssituationen bewältigen; Entscheidungen in Bezug auf die Zukunft treffen – angesichts von Ungewissheit, Unklarheiten und Risiken. Beispiel: Vorschläge für Energiesparmaßnahmen in Gebäuden.	6 - 8
3.3 Forschungsorientiertes Denken	Sich eine relationale Denkweise aneignen – durch Erforschung und Verknüpfung verschiedener Disziplinen; kreativ und experimentierfreudig sein (neue Ideen oder Methoden). Beispiel: Kreislaufwirtschaft in der Schule.	4 - 9

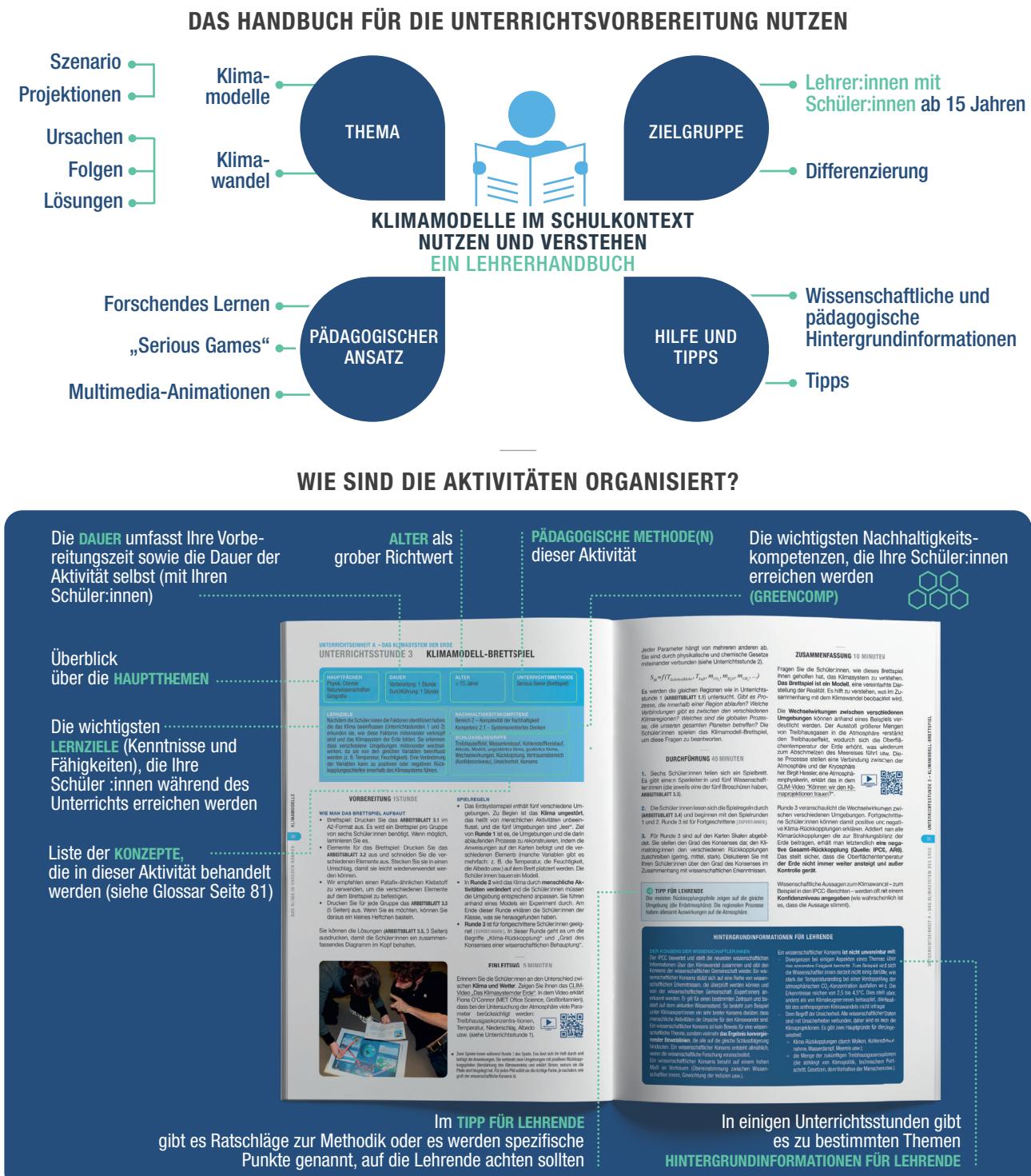
BEREICH 4 HANDELN FÜR NACHHALTIGKEIT

GREENCOMP	BESCHREIBUNG	STUNDE
4.1 Politisches Handeln	Sich im politischen System zurechtfinden; die politische Verantwortung und Rechenschaftspflicht für nicht nachhaltiges Verhalten erkennen und wirksame Maßnahmen für Nachhaltigkeit fordern. Beispiel: Engagement der Schüler:innen.	8
4.2 Kollektives Handeln	Sich in Zusammenarbeit mit anderen für Veränderungen einsetzen. Beispiel: Teilnahme an einem partizipativen wissenschaftlichen Projekt, z. B. „Wer schützt die Eichen?“. ²	8 - 9
4.3 Individuelle Initiative	Sein eigenes Nachhaltigkeitspotenzial erkennen und aktiv zur Verbesserung der Perspektiven für die Menschheit und den Planeten beitragen. Beispiel: Mehr Wege mit dem Fahrrad zurücklegen.	8 - 9

¹ Bianchi, G., Pisiotis, U., Cabrera Giraldez, M. GreenComp – der Europäische Kompetenzrahmen für Nachhaltigkeit. Bacigalupo, M., Punie, Y. (Redaktion), EUR 30955 DE, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg, 2022, (<https://data.europa.eu/doi/10.2760/161792>)

² https://sites.google.com/view/oakbodyguards/home/deutsch_1

Methodik des Handbuchs



NIVEAUS

NIVEAUS
Die Zielgruppe sind Schüler:innen ab 15 Jahren (Se-kundarstufe). Jede Aktivität wurde mit Schüler:innen dieser Altersgruppe getestet. Das bedeutet natürlich nicht, dass Sie die Aktivitäten nicht auch mit einer anderen Altersgruppe durchführen können, aber **es gibt Ihnen eine Vorstellung von den vorausgesetzten Fähigkeiten.**

SCHWIERIGKEITSGRAD DER MATERIALIEN

SCHWIERIGKEITSGRAD DER MATERIALIEN
Bei den meisten Unterrichtsstunden gibt es Zusatzmaterialien mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad – einige sind leicht zu verstehen, andere eher für fortgeschrittene Schüler:innen gedacht. Auch hier geben wir **lediglich eine Empfehlung**: Nur Sie wissen, welche Materialien für das Niveau Ihrer Klasse am besten geeignet sind. Die verschiedenen Niveaus sind:



Klimawandel unterrichten

Mit diesem Lehrerhandbuch möchten wir einen aktiven, schülerzentrierten Unterricht fördern: Die Schüler:innen sollen Fragen stellen, experimentieren, beobachten, ausprobieren, diskutieren und an den lokalen Kontext angepasste, konkrete Lösungen für die Probleme des Klimawandels umsetzen. Dieses „aktive Lernen“ kann verschiedene Formen annehmen. **Die beiden pädagogischen Ansätze, die wir in diesem Handbuch verfolgen, sind das forschende Lernen und das projektbasierte Lernen.**

WAS IST FORSCHENDES LERNEN?

Wenn forschendes Lernen auf seine elementaren Komponenten reduziert wird, durchlaufen Lernende im Allgemeinen drei Phasen:

- Fragestellung und Formulierung von Hypothesen:** Lehrende oder Schüler:innen stellen Fragen oder greifen ein Problem auf und formulieren eine oder mehrere Hypothesen.
- Erforschung:** Die Hypothesen können mithilfe von Experimenten, Untersuchungen, Beobachtungen oder einer Literaturrecherche überprüft werden.
- Wissen strukturieren und konstruieren** (Diskussion über die gesammelten oder produzierten Informationen und/oder Daten): Ziel ist es, allgemeine Schlussfolgerungen zu ziehen, die wiederum zu neuen Fragestellungen und weiterer Erforschung führen können.

WAS IST PROJEKTBASIERTES LERNEN?

Auch projektbasiertes Lernen ist aktives Lernen. Es wurde Anfang des 20. Jahrhunderts von John Dewey beschrieben und lange Zeit ausschließlich in der Primarstufe angewendet, bevor es nach und nach auch auf die Sekundarstufe und die Hochschulen ausgeweitet wurde.

Projektbasiertes Lernen ist eine Bildungsmethode, die Inhalte durch wissenschaftliches und aktives Lernen vermittelt. Die Projekte werden mit offenen Fragestellungen eingeleitet, die die Schüler:innen anregen, zu erforschen, zu recherchieren und ihre eigenen Lösungen zu entwickeln. Ein Beispiel: „Wie können wir den CO₂-Fußabdruck unserer Schule reduzieren?“

Der wesentliche Vorteil des projektbasierten Lernens besteht darin, dass **die Schüler:innen in Kontexten lernen, die für sie von Bedeutung sind**. Außerdem werden sie durch den praktischen Aspekt des Projekts in der Regel noch mehr motiviert. Sie erwerben funktionsübergreifende Fähigkeiten, wie zum Beispiel etwas zu planen oder Entscheidungen zu treffen. Sie erkennen, dass Fehler und gescheiterte Versuche Teil des Lernprozesses sind und dass das Zusammenarbeiten mit anderen der Schlüssel zum Erfolg ist. Das Ergebnis des Projekts kann andere Klassen, die Familien und die Gemeinschaft als Ganzes inspirieren.

WARUM EIN INTERDISZIPLINÄRER ANSATZ IN DER KLIMAWANDELBILDUNG?

Während die „traditionellen“ wissenschaftlichen Disziplinen wichtig sind, um die physikalischen und biogeochemischen Mechanismen des Klimawandels und seiner Auswirkungen zu verstehen, können die Schüler:innen mithilfe der Geistes- und Sozialwissenschaften die Fragen der nachhaltigen Entwicklung und der Klimagerechtigkeit verstehen. Der Kunstunterricht und Sprachen können genutzt werden, um Schüler:innen zu ermutigen, ihre Gefühle auszudrücken und sich für bestimmte Formen des Handelns zu engagieren (z. B. Sensibilisierung der Öffentlichkeit). Ingenieurwissenschaften und praktische Fächer (Landwirtschaft, Technik usw.) helfen bei der Entwicklung von Lösungen. **Klimawandelbildung muss viele Facetten berücksichtigen, und dies erfordert einen multidisziplinären Ansatz.**

POSITIVES DENKEN IN DER KLIMAWANDELBILDUNG

Die Problematik des Klimawandels hat weltweit zu einer starken Mobilisierung junger Menschen geführt. Sie ist geprägt von starken Emotionen, insbesondere bei den Jüngsten, die vom „Zusammenbruch der Zivilisation“ oder dem „Ende unseres Planeten“ sprechen. Der Begriff Öko-Angrust (auf Englisch: eco-anxiety) beschreibt diese Angst vor den Auswirkungen des Klimawandels.

Wir schlagen vor, diese Angst durch folgende Maßnahmen zu bewältigen:

- **Sensibilisierung für den Klimawandel:** Die Ernsthaftigkeit und die problematischen Aspekte des Klimawandels nicht leugnen, aber sich auf die wissenschaftlichen Fakten konzentrieren, anstatt nur von Katastrophen zu sprechen (Unterrichtseinheit A – Das Klimagesystem der Erde). Dieser Ansatz ist wichtig, aber nicht ausreichend, wenn man die hohe emotionale Aufladung von Klimawandelfolgen bedenkt.
- Die Schüler:innen ermutigen, **sich ihre Emotionen und Gefühle einzugehen** und sich mit anderen zu vernetzen, anstatt allein zu bleiben (siehe die Unterrichtsstunde D2 im Handbuch „Das Klima in unseren Händen – Klimawandel und Landsysteme“).
- Erkennen, dass es notwendig und nicht zu spät ist, **auf verschiedenen Ebenen zu handeln**: Einzelpersonen, Schule, Gemeinschaft usw. (Unterrichtseinheit C – Klimamodelle zur Vorhersage der Zukunft).
- Die Schüler:innen ermutigen, sich an einem **konkreten Aktionsplan** – einem Klimaschutz- und/oder Anpassungsprojekt – zu beteiligen (siehe den Abschnitt ‚Wir handeln‘ in den Lehrerhandbüchern aus der „Das Klima in unseren Händen“-Serie: „Ozean und Kryosphäre“ und „Klimawandel und Landsysteme“).

UNTERRICHTSSTUNDE 1 DIE KOMPONENTEN DES KLIMASYSTEMS

HAUPTFÄCHER	DAUER	ALTER	UNTERRICHTSMETHODE
Physik Naturwissenschaften Geografie	Vorbereitung: 10 Minuten Durchführung: 2 Stunden	13-18 Jahre	Dokumentenanalyse
LERNZIELE			NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ Bereich 2 – Komplexität der Nachhaltigkeit Kompetenz 2.1 – Systemorientiertes Denken
Die Schüler:innen befassen sich erneut mit dem Unterschied zwischen Klima und Wetter. Wissenschaftler:innen verwenden physikalische Parameter, um das Klima zu beschreiben (z. B. Temperatur, Niederschlag). Bei der Untersuchung des Klimas müssen mehrere dieser physikalischen Parameter gleichzeitig untersucht werden (z. B. H ₂ O- und CO ₂ -Konzentration, Temperatur, Albedo usw.). Die Schüler:innen untersuchen die Entwicklung dieser Parameter, die alle – in unterschiedlichem Maße – Anzeichen für die Erderwärmung sind.			

VORBEREITUNG 10 MINUTEN

- Das **ARBEITSBLATT 1.1** ausdrucken (ein Exemplar pro Schüler:in) – falls möglich im A3-Format, damit die Schüler:innen mehr Platz für ihre Antworten haben.
- Die **ARBEITSBLÄTTER 1.2 bis 1.6** ausdrucken (ein Exemplar pro Gruppe).
- Optional: Das **ARBEITSBLATT 1.1 (LÖSUNG)** ausdrucken.

EINLEITUNG 30 MINUTEN

Reaktivieren Sie mit Ihren Schüler:innen zunächst die Begriffe „Klima“ und „Wetter“.

Fall 1: Sie leben in einem Teil der Welt, in dem es jahreszeitliche Klimaschwankungen gibt (Sommer/Winter oder nass/trocken): Fragen Sie die Schüler:innen: *Wie seid ihr heute angezogen? Wart Ihr letzte Woche/letzten Monat/im letzten Urlaub ähnlich gekleidet? Wie entscheidet ihr, was ihr anzieht?* Die Schüler:innen werden vermutlich antworten, dass ihre Kleiderwahl davon abhängt, ob es regnet oder die Sonne scheint, ob es kalt oder warm ist – ihre Entscheidung hängt vom Wetter ab. *Wie ist das Wetter in anderen Regionen der Welt? Wie könnt ihr Wetter und Klima unterscheiden?*

Fall 2: Sie leben in einem Teil der Welt ohne jahreszeitliche Klimaschwankungen: *Ist das Wetter das ganze Jahr über gleich? Ist das Wetter so wie anderswo auf der Welt? Ist es in anderen Regionen der Welt ähnlich warm? Regnet es dort genauso viel/wenig? Wie könnt ihr Wetter und Klima unterscheiden?*

- Um die Schüler:innen an den Unterschied zwischen Wetter und Klima zu erinnern, lesen Sie ihnen die im Kasten aufgeführten Sätze vor. Die Schüler:innen sollen wählen und begründen, weshalb es sich bei einem bestimmten Satz um „Klima“ oder „Wetter“ handelt (für jeden Satz finden Sie die richtige Antwort in Klammern).

Schaut aus dem Fenster: Die Sonne scheint durch die Wolken und lockt euch nach draußen. (WETTER)

Meine Oma sagt, dass es im Winter immer geschneit hat, als sie ein Kind war. Manchmal konnte sie wegen des Schnees nicht zur Schule gehen. (KLIMA)

An diesem Wochenende wird es windig. Wir könnten unseren neuen Drachen ausprobieren. (WETTER)

Meine Freundin in Australien hat auf ihrem Schulfest eine Wasserschlacht gemacht. Dort ist es allerdings immer heiß. (KLIMA)

Am 8. Mai hat es geregnet. (WETTER)

- Die Schüler:innen sollen den Unterschied zwischen Klima und Wetter erklären (siehe die Definitionen im Glossar). **Das Klima sagt dir, welche Kleidung du kaufen solltest, und das Wetter sagt dir, was du anziehen solltest.**



Gruppenarbeit: Die „Botaniker:innen“ füllen ihr Arbeitsblatt aus.

DURCHFÜHRUNG 1 STUNDE

- Die Schüler:innen sollten gelernt haben, dass sich das Wetter schnell ändern kann. *Hat sich das Klima in den letzten Jahrzehnten verändert? Schnell oder nicht? Wie können wir das beweisen, wo doch das Klima über einen langen Zeitraum definiert ist?* Die Schüler:innen analysieren dazu Dokumente.
- Stellen Sie das **ARBEITSBLATT 1.1** vor. Jede:r Schüler:in füllt es am Ende der Stunde aus.
- Teilen Sie die Klasse in Gruppen von maximal vier Schüler:innen auf. Jede Gruppe schlüpft in die Rolle eines/einer Wissenschaftler:in (Ozeanograf:in, Glaziolog:in, Botaniker:in usw.). Anhand der Dokumente der **ARBEITSBLÄTTER 2.1** bis **1.6** füllen die Schüler:innen die ihrem „Fachwissen“ entsprechenden Karten aus und legen diese auf das **ARBEITSBLATT 1.1** („Die Komponenten des Klimasystems“). Sie müssen die in ihrem Fachgebiet untersuchten Parameter und zeitlichen/räumlichen Skalen finden und die Indizien für den Klimawandel kurz erläutern.
- Nachdem sie ihre Dokumente analysiert und besprochen haben, vervollständigt jede Gruppe die Kästchen, die ihrem wissenschaftlichen Fachgebiet entsprechen, und stellt den anderen Gruppen ihre Ergebnisse vor, so dass alle Schüler:innen das **ARBEITSBLATT 1.1** ausfüllen können.

HINTERGRUNDINFORMATIONEN FÜR LEHRENDE

Es kann schwierig sein, sich die langen Zeiträume des Klimawandels vorzustellen. Junge (und oft auch ältere) Menschen tendieren dazu, nur Ereignisse wahrzunehmen, die direkt mit ihrem eigenen Leben zu tun haben. Viele klimawandelbedingte Veränderungen finden jedoch schleichend statt und können nur über lange Zeiträume beobachtet werden (30 Jahre, 100 Jahre oder länger). Solche Veränderungen sind daher nur schwer wahrnehmbar. Hier einige Tipps:

- ~ Beginnen Sie mit konkreten Beispielen und ändern Sie langsam den zeitlichen Maßstab.
- ~ Verwenden Sie Beispiele, die den Schüler:innen vertraut sind (aktuelle Ereignisse und/oder von den Schüler:innen genannte Beispiele).
- ~ Analogien mit Alltagsgegenständen können nützlich sein, um die Schüler:innen mit Größenordnungen vertraut zu machen (Beispiel: **ARBEITSBLATT 1.2, DOKUMENT 1**: Man kann die 120 Jahre auf der x-Achse mit der durchschnittlichen Lebenserwartung eines Menschen im eigenen Land vergleichen).

ZUSAMMENFASSUNG 30 MINUTEN

Die Schüler:innen stellen fest, dass Wissenschaftler:innen **physikalische und biogeochemische Parameter** zur Untersuchung des Wetters oder Klimas verwenden: Temperatur (in °C), relative Luftfeuchtigkeit (in % Wasserdampf in der Luft), Niederschlag (in mm Wasser pro Stunde), Konzentration der Treibhausgase H₂O, CO₂ und CH₄ (in ppm), Aerosole oder Schadstoffkonzentration (in µg/m³), Eis (Volumen in Gigatonnen oder Ausdehnung in km²) usw.

Die physikalischen Parameter sind sowohl für das Wetter als auch für das Klima identisch, außer dass einige Parameter, die sich **langsam verändern** (z. B. die Eisausdehnung an den Polen), für das **Klima** relevanter sind. Auf der anderen Seite sind Parameter, die sich **kurzfristig verändern** (z. B. Niederschläge) eher für das **Wetter** relevant.

Jede:r Wissenschaftler:in untersucht **verschiedene physikalische Parameter**. Der/die Glaziolog:in untersucht zum Beispiel das Eisvolumen und die Albedo. In dem CLIM-Video „Das Klimasystem der Erde“ erklärt Fiona O’Connor (MET Office Science, Großbritannien), wie sie verschiedene Parameter (Wasserdampf, flüssiges Wasser, Methankonzentration) zur Untersuchung der Atmosphärenchemie heranzieht.



Diese **physikalischen Parameter müssen** bei der Untersuchung des Klimas (und beim Klimaschutz) **gleichzeitig berücksichtigt werden**. Sie können dazu dienen, Klima- und/oder Wettertrends sowohl auf globaler als auch auf regionaler Ebene zu beschreiben. Weisen Sie abschließend darauf hin, dass sich **das Klima ebenso wie das Wetter im Laufe der letzten hundert Jahre verändert hat: Das ist der Klimawandel**. Es gibt solide wissenschaftliche Indizien dafür, dass sich das Klima in den verschiedenen Regionen der Welt verändert hat: Die globale Temperatur und der Meeresspiegel sind gestiegen, Gletscher und Meereis schmelzen, Blumen und Bäume blühen früher, Dürren und starke Regenfälle treten häufiger auf, usw.

Sie können den **IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change, Weltklimarat) als eine der **zuverlässigsten Informationsquellen zum Klimawandel** nennen.

ARBEITSBLATT 1.1

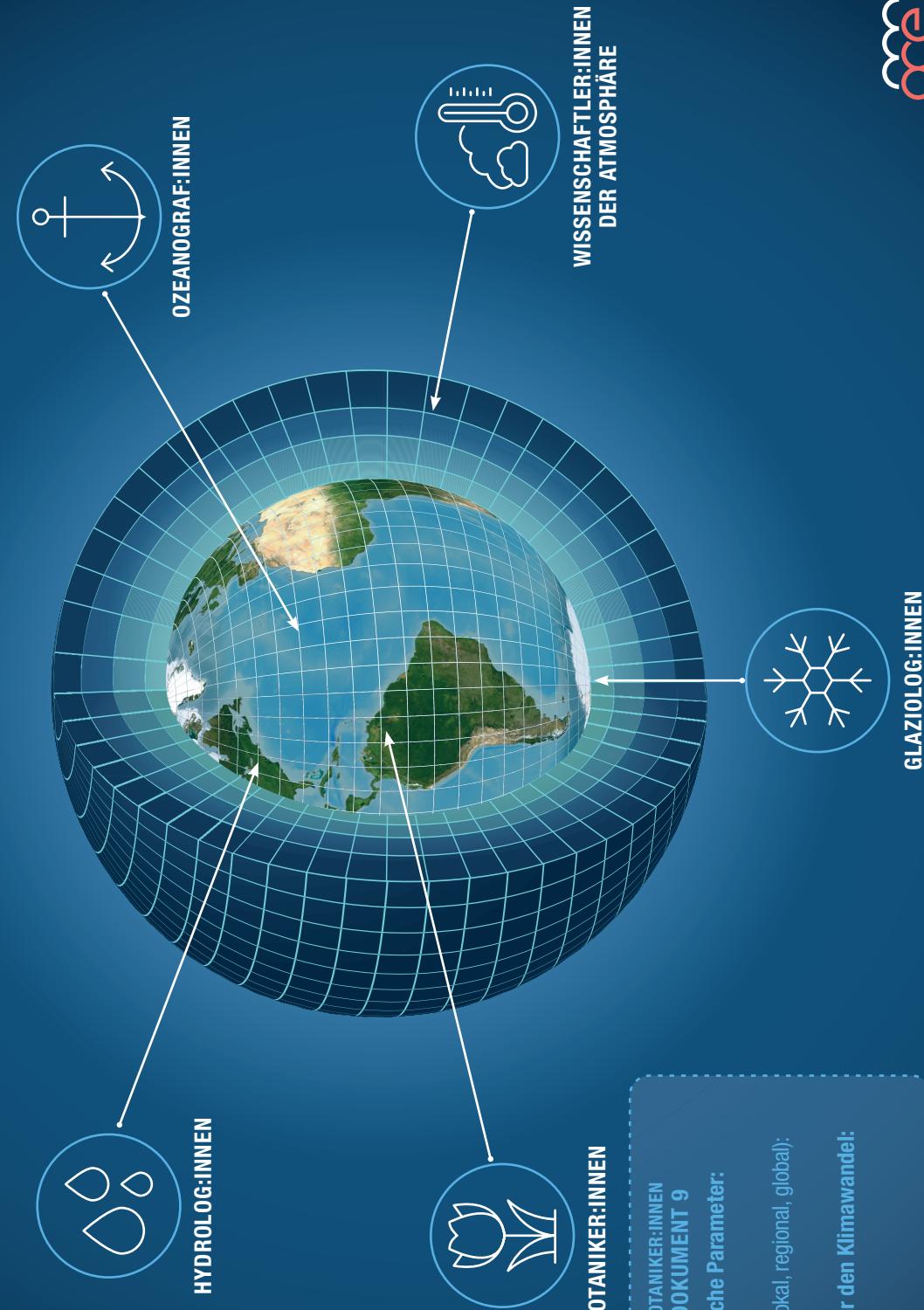


DIE KOMPONENTEN DES KLIMASYSTEMS

DAS KLIMA IN UNSEREN HÄNDEN

KLIMAMODELLE

12



ARBEITSBLATT 1.1 KARTEN



OZEANOGRAF:INNEN DOKUMENT 1

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:



OZEANOGRAF:INNEN DOKUMENT 2

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

HYDROLOG:INNEN DOKUMENT 7

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

WISSENSCHAFTLER:INNEN DER ATMOSPHÄRE DOKUMENT 3

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

WISSENSCHAFTLER:INNEN DER ATMOSPHÄRE DOKUMENT 4

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

HYDROLOG:INNEN DOKUMENT 8

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

GLAZIOLOG:INNEN DOKUMENT 5

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

GLAZIOLOG:INNEN DOKUMENT 6

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

BOTANIKER:INNEN DOKUMENT 9

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

BOTANIKER:INNEN DOKUMENT 10

Physikalische Parameter:

Maßstab (lokal, regional, global):

Indizien für den Klimawandel:

ARBEITSBLATT 1.1 LÖSUNG



OZEANOGRAF:INNEN DOKUMENT 1

Physikalische Parameter: Meeresspiegel (mm)

Maßstab: global

Indizien für den Klimawandel: Seit 1900 ist der Meeresspiegel im weltweiten Mittel um etwa 200 mm angestiegen. Er steigt kontinuierlich an.

OZEANOGRAF:INNEN DOKUMENT 2

Physikalische Parameter: Temperaturänderung (°C)

Maßstab: global

Indizien für den Klimawandel: Die Temperaturdifferenz zwischen den Zeiträumen 1994-2024 und 1951-1980 ist fast überall auf der Welt positiv. Dies deutet auf eine Erwärmung der Erde hin. Die Erwärmung ist über Land und in höheren Breitengraden größer.

WISSENSCHAFTLER:INNEN DER ATMOSPHÄRE DOKUMENT 3

Physikalische Parameter: CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (ppm)

Maßstab: global

Indizien für den Klimawandel: Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ist seit der industriellen Revolution gestiegen. Durch menschliche Aktivitäten wurden große Mengen an CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt. Dieses zusätzliche CO₂ verstärkt den Treibhauseffekt und trägt somit zur Erwärmung bei.

WISSENSCHAFTLER:INNEN DER ATMOSPHÄRE DOKUMENT 4

Physikalische Parameter: Temperaturanomalie im Sommer 2023 in Europa (°C)

Maßstab: regional

Indizien für den Klimawandel: Im Sommer 2023 sind die Temperaturanomalien in Europa fast überall positiv. In mehreren Ländern gibt es Hitzewellen. Die beobachteten Temperaturen sind höher als im Referenzzeitraum (1991-2020). Das ist eine Folge des Klimawandels. Quelle der Daten: ERA5, Copernicus Climate Change Service/ECMWF

GLAZIOLOG:INNEN DOKUMENT 5

Physikalische Parameter: qualitative Beobachtungen der Gletscherausdehnung, Masse der Kryosphäre (Tonnen Eis)

Maßstab: Aus den lokalen Beobachtungen kann man eine globale Schlussfolgerung ziehen (Eisschilde in Alaska, Grönland und der Antarktis).

Indizien für den Klimawandel: Überall auf der Erde schrumpfen die Eisschilde: Jedes einzelne verliert jedes Jahr Gigatonnen an Kontinentaleis. Dies ist ein Zeichen für die Erderwärmung und den Anstieg des Meeresspiegels.

GLAZIOLOG:INNEN DOKUMENT 6

Physikalische Parameter: Meereisausdehnung in der Arktis (Millionen km²) und Albedo (in willkürlichen Einheiten)

Maßstab: regional (Arktis)

Indizien für den Klimawandel: Die Ausdehnung des arktischen Meereises ist seit mindestens 1979 rückläufig. Wegen der Erderwärmung schmilzt das Meereis. Das führt dazu, dass die Albedo der gesamten Arktis kleiner wird, was wiederum dazu führt, dass der arktische Ozean mehr Sonnenstrahlung absorbiert.

HYDROLOG:INNEN DOKUMENT 7

Physikalische Parameter: Niederschlagstrends über Land zwischen 1951 und 2010 (% pro Jahrzehnt)

Maßstab: global

Indizien für den Klimawandel: Seit 1951 haben die Niederschläge in bestimmten Regionen wie Nordeuropa und dem Osten der USA zugenommen (z. B. +4% pro Jahrzehnt in Großbritannien zwischen 1951 und 2010). Im Mittelmeerraum, in Westafrika oder in Südostasien fällt dagegen weniger Regen (z. B. – 10% pro Jahrzehnt im Senegal). Der Klimawandel wirkt sich also auf die Niederschlagsmuster aus, die sich überall auf der Erde – sehr ungleichmäßig – verändert haben.

HYDROLOG:INNEN DOKUMENT 8

Physikalische Parameter: Temperaturanomalie seit 1880 (°C) über Land und über dem Ozean

Maßstab: global

Indizien für den Klimawandel: Die Temperaturanomalie über Land ist seit 1880 um fast 2°C gestiegen, was die Erderwärmung bestätigt. Dieser Anstieg ist über Land stärker ausgeprägt als über dem Ozean.

BOTANIKER:INNEN DOKUMENT 9

Physikalische Parameter: Kohlenstoffflüsse (Tonnen Kohlenstoff) und Reservoirs (Anteile in %)

Maßstab: regional und global

Indizien für den Klimawandel: Wegen des Klimawandels verändern sich überall auf der Erde die Niederschlagsmuster. Das wirkt sich auch auf die Böden und die Pflanzenaktivität aus: In vielen Ökosystemen verändert sich der Kohlenstoffkreislauf (d. h. die Kohlenstoffflüsse und -speicher).

BOTANIKER:INNEN DOKUMENT 10

Physikalische Parameter: Blütezeit, Anzahl extremer Ereignisse

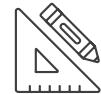
Maßstab: lokal und global

Indizien für den Klimawandel: Das Datum des Beginns der Blüte des japanischen Kirschbaums hat sich von Ende April im Jahr 1550 auf Anfang April in den 2000er Jahren verschoben. Wegen der Erderwärmung blühen die Pflanzen früher.

Die Anzahl der Extremereignisse ist seit 1960 stetig gestiegen. Ihre Häufigkeit und Intensität nehmen mit fortschreitendem Klimawandel zu und verursachen erhebliche Schäden.

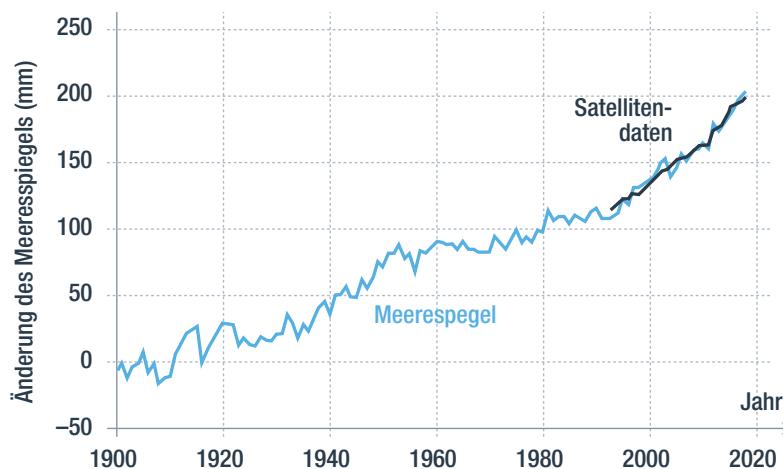
ARBEITSBLATT 1.2

FORTGESCHRITTENE



OZEANOGRAF:INNEN

- Euer Spezialgebiet sind die Ozeane und ihr habt beobachtet, wie sich der Meeresspiegel im Laufe des letzten Jahrhunderts verändert hat.



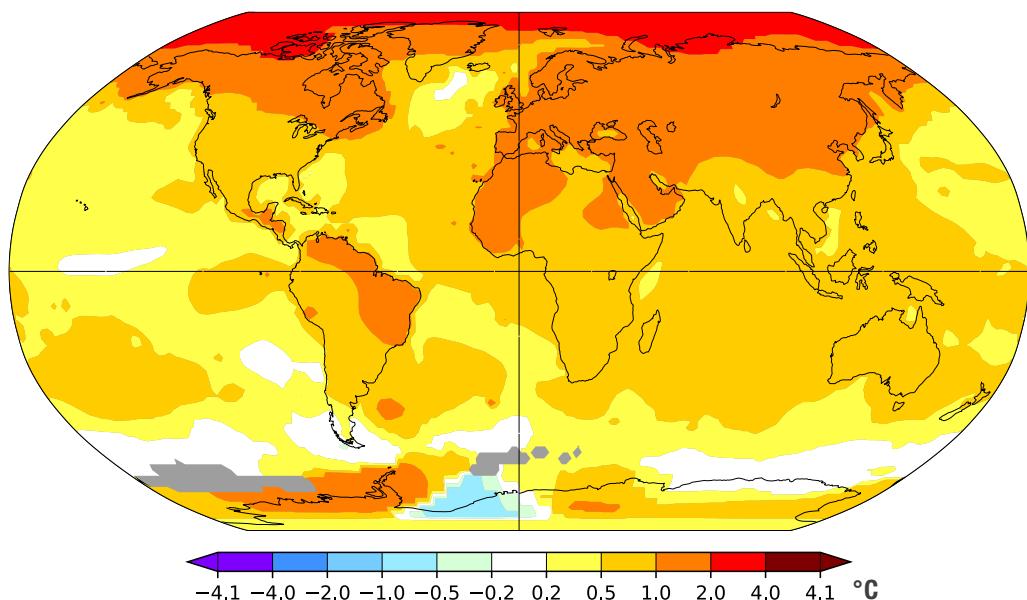
DOKUMENT 1: MEERESSPIEGELANSTIEG SEIT 1900

Die Messungen wurden mit Hilfe von Satelliten, die die Erde umkreisen, und durch kontinuierliche Aufzeichnung des Meeresspiegels gewonnen.

Ältere Daten stammen von Gezeitenpegeln an der Küste. Ein Pegelmesser ist ein Aufzeichnungsgerät, das den Meerespegel – oder Flusspegel – an einem bestimmten Ort über eine bestimmte Zeitspanne misst.

Quelle: NASA Goddard Space Flight Center/PO.DAAC; 2020, Frederikse et al. (2020), <https://podaac.jpl.nasa.gov/DataAction-2020-11-19-Globally-averaged-sea-level> (angepasst)

DOKUMENT 2: VERÄNDERUNGEN DER MITTLEREN JÄHRLICHEN OBERFLÄCHENTEMPERATUR IM ZEITRAUM 1995-2024 IM VERGLEICH ZUM ZEITRAUM 1951-1980



Quelle: NASA 2025, Temperatur an der Landoberfläche: GHCNv4, Temperatur an der Ozeanoberfläche: ERSST_v5, <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/>.

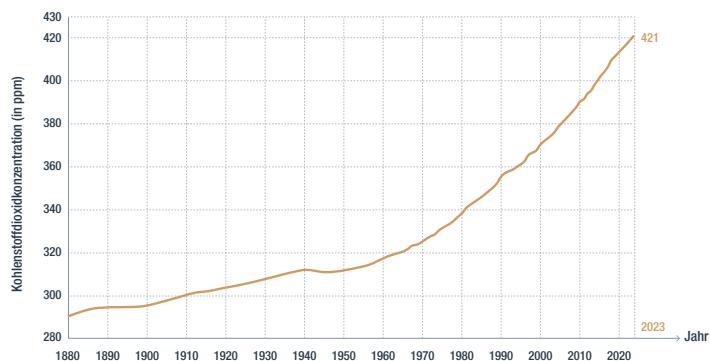
In diesem Video der NASA wird der Temperaturanstieg seit 1880 visualisiert: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4882>.



WISSENSCHAFTLER:INNEN DER ATMOSPHÄRE

→ Ihr würdet gern wissen, wie sich die Temperatur und die Zusammensetzung der Atmosphäre mit der Zeit verändert haben.

DOKUMENT 3: GLOBALE MITTLERE KOHLENSTOFFDIOXID-KONZENTRATION IN DER ATMOSPHÄRE



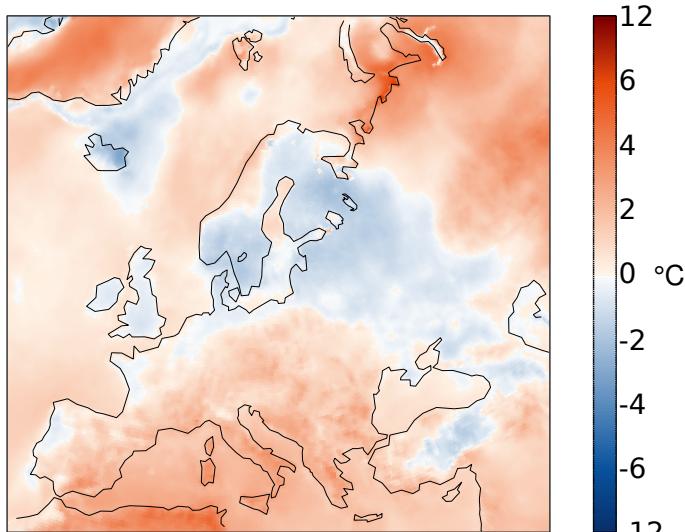
1 ppm (ein Teil pro einer Million Teile) entspricht 0,0001%.

Quelle: NOAA – Earth System Research Laboratory – Global Monitoring Division
<https://www.climate.gov/media/13560> und https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2/co2_annmean_mlo.txt

Kohlenstoffdioxid ist ein Treibhausgas. Ein Großteil der Sonnenstrahlung durchdringt die Atmosphäre und wird von der Erdoberfläche absorbiert. Die Erdoberfläche erwärmt sich und emittiert Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung). Ein Teil dieser Infrarotstrahlung wird auf dem Weg ins Weltall von den Treibhausgasen in der Atmosphäre „eingefangen“ – und heizt die Atmosphäre auf, die wiederum Infrarotstrahlung Richtung Erdoberfläche sendet.

Der technische Fortschritt seit der industriellen Revolution ist nicht nur auf die Dampfmaschine zurückzuführen, sondern auch auf bisher nie dagewesene wissenschaftliche, technologische, wirtschaftliche und politische Veränderungen, die alle Bereiche der menschlichen Gesellschaft betreffen. All diese Entwicklungen haben zu einem steilen Anstieg der Weltbevölkerung geführt. Die Folge: ein höherer Energieverbrauch und ein Anstieg der Treibhausgasemissionen.

DOKUMENT 4: DIE TEMPERATURANOMALIE IM AUGUST 2023



Untersuchte Region: Europa

Untersuchter physikalischer Parameter: Temperaturanomalie (°C) im August 2023 (Referenzzeitraum: 1991-2020)

In diesem Fall ist die Temperaturanomalie die Differenz zwischen den Temperaturen im August 2023 und dem Mittelwert der Temperaturen im Monat August der Jahre 1991 bis 2010 (Referenzzeitraum). Ist die Anomalie positiv, bedeutet das, dass die beobachtete Temperatur höher ist als im Referenzzeitraum. Ist sie negativ, ist die beobachtete Temperatur niedriger als im Referenzzeitraum.

Im Sommer 2023 herrschte in Europa außergewöhnlich heißes Wetter. In Frankreich, Deutschland und Spanien wurden neue Temperaturrekorde aufgestellt. Extreme Wetterereignisse sind für einen bestimmten Ort ungewöhnliche Ereignisse wie starke Hurrikane, Dürren, extreme Temperaturen, Hitzewellen, sintflutartige Niederschläge, Sturzfluten, Dürren usw. Die IPCC-Expert:innen sagen, dass viele Extremereignisse mit dem Klimawandel häufiger und intensiver werden.



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



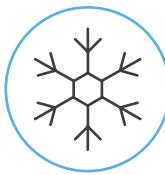
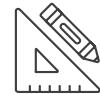
IMPLEMENTED BY
ECMWF



Quelle: ERA5, Copernicus Climate Change Service/ECMWF, <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-july-2023> (angepasst)

ARBEITSBLATT 1.4

FORTGESCHRITTENE



GLAZIOLOG:INNEN

→ Ihr untersucht unter anderem, wie sich der Klimawandel auf Gletscher und Eisschilde auswirkt.

DOKUMENT 5: WAS GESCHIEHT MIT DEM KONTINENTALEIS?



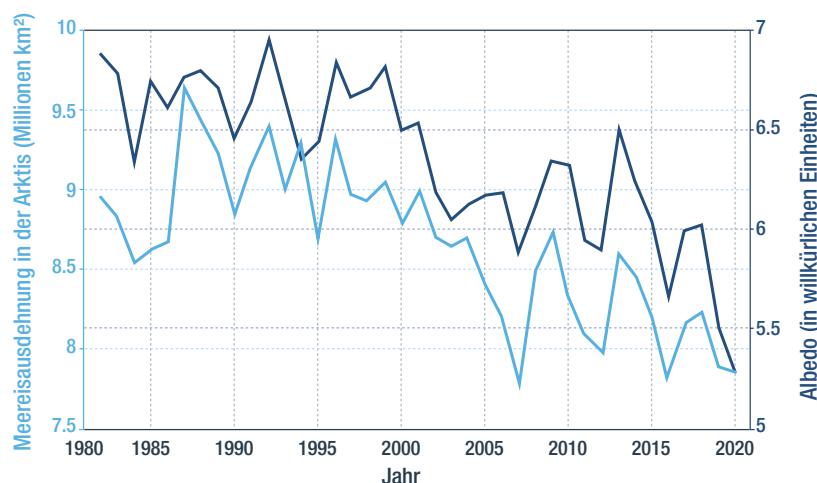
Das kontinentale Eis umfasst das gesamte Eis und den Schnee auf dem Kontinent. Es umfasst Gletscher, Eisschilde, saisonalen Schnee, zugefrorene Seen und Flüsse sowie Permafrost (Boden, Gestein oder Sediment, das seit mindestens zwei aufeinander folgenden Jahren dauerhaft gefroren ist).

Quelle: Der Muir-Gletscher in Alaska im August 1941 (links) und im August 2004 (rechts) – fotografiert von dem Glaziologen William O. Field (National Snow and Ice Data Center und Glacier Bay National Park and Preserve Archiv) und von dem Geologen Bruce F. Molnia (United States Geological Survey), <https://www.earthdata.nasa.gov/news/feature-articles/glacial-pace>.



Quelle: NASA, <https://science.nasa.gov/resource/infographic-sea-level-rise/> (angepasst)

DOKUMENT 6: ENTWICKLUNG DER MEEREISAUSDEHNUNG IN DER ARKTIS



Der arktische Ozean ist teilweise von Meereis bedeckt, das aus gefrorenem Wasser besteht. Meereis schwimmt auf der Meeresoberfläche.

Albedo bedeutet auf Griechisch „Weißheit“. Die Albedo misst den Anteil des Sonnenlichts, das von einer Oberfläche reflektiert wird. Da sie die Sonnenstrahlung zum Großteil reflektiert (sie gelangt wieder in den Weltraum), erwärmt sich eine weiße Fläche nicht (oder kaum).

Normalerweise wird die Albedo in % angegeben (Anteil der ins Weltall reflektierten Sonnenstrahlung). Eis und Neuschnee haben eine hohe Albedo (zwischen 40 und 80%), während das Wasser des Arktischen Ozeans eine Albedo von unter 10% hat.

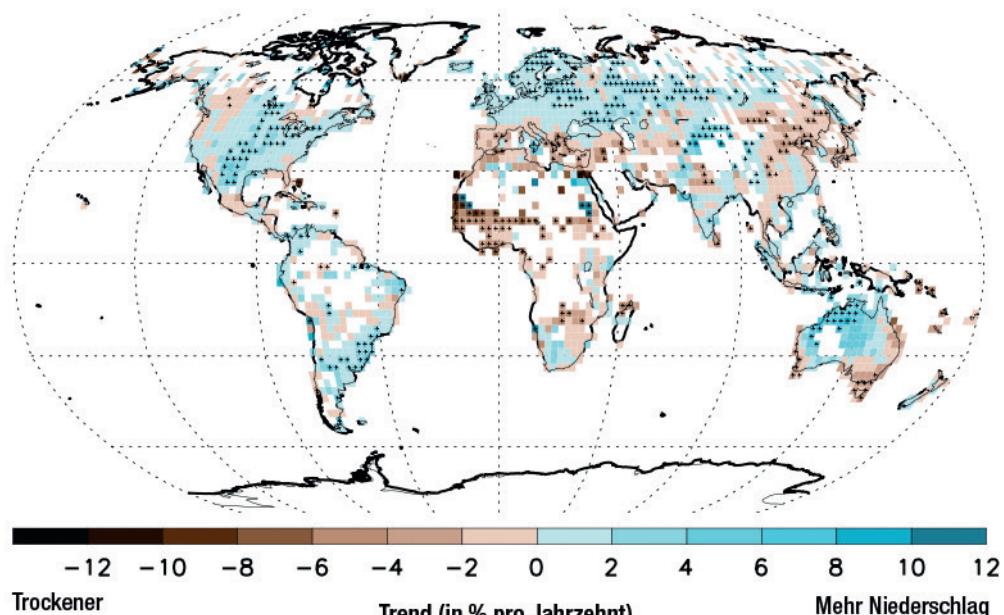
Quelle: Hao, H. et al. (2023), Radiative Effects and Costing Assessment of Arctic Sea Ice Albedo Changes, Remote Sensing, <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/4/970> (angepasst)



HYDROLOG:INNEN

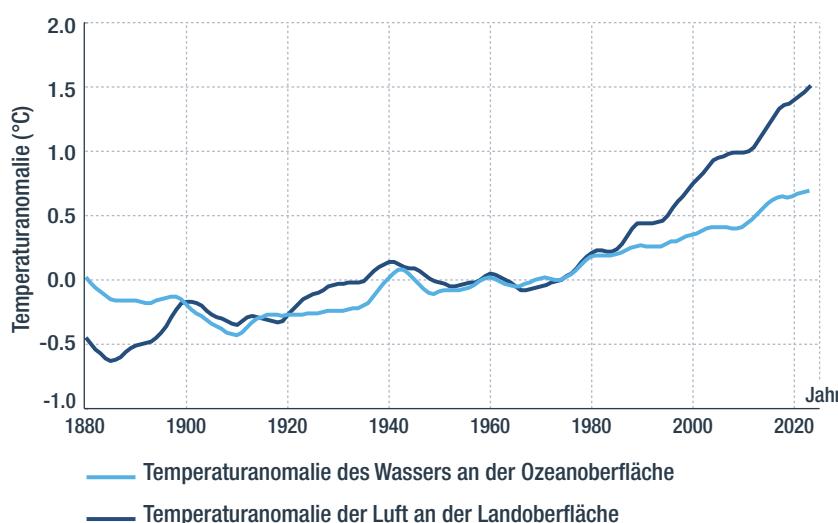
- Ihr untersucht den Wasserkreislauf. Euch interessieren insbesondere der Niederschlag, das Oberflächenwasser und die Verdunstung.

DOKUMENT 7: ENTWICKLUNG DER NIEDERSCHLAGSMENGEN ÜBER LAND ZWISCHEN 1951 UND 2010



Quelle: IPCC 2013, Assessment Report 5, WG1 (The Physical Science Basis), <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (angepasst)

DOKUMENT 8: TEMPERATURANOMALIE SEIT 1880 – ÜBER LAND UND ÜBER DEM OZEAN



Diese Messungen wurden an verschiedenen Stationen auf der ganzen Welt durchgeführt. Die Kurven zeigen Temperaturanomalien, d. h. eine Differenz zwischen der jährlichen Durchschnittstemperatur und der Durchschnittstemperatur im Zeitraum 1951–1980.

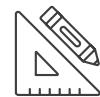
Die Verdunstung von Wasser beschreibt den Übergang von flüssigem Wasser in gasförmiges Wasser (Wasserdampf). Sowohl über dem Ozean als auch an Land (Seen, Böden usw.) verdunstet Wasser. Pflanzen und Tiere verlieren auch durch Transpiration Wasser: Es entstehen dabei Wassertropfen, die verdunsten. Dieses Phänomen wird als **Evapotranspiration** bezeichnet.

Verdunstung und Evapotranspiration hängen von **der Temperatur** ab sowie von **dem Wassergehalt des Bodens und dem Vegetationstyp**.

Quelle: NASA/GISS/GISTEMP v4 (2024), https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/ (angepasst)

ARBEITSBLATT 1.6

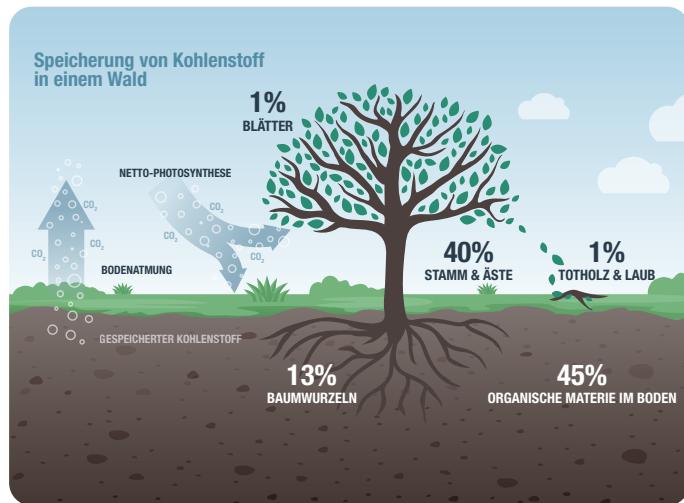
FORTGESCHRITTENE



BOTANIKER:INNEN

→ Ihr untersucht, wie die Pflanzen und der Klimawandel interagieren.

DOKUMENT 9: WAS PASSIERT MIT DEM KOHLENSTOFFDIOXID IN DEN PFLANZEN?



Bei Sonnenlicht wachsen Pflanzen, indem sie Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre aufnehmen (**Photosynthese**). Pflanzen atmen aber auch, sowohl tagsüber als auch nachts – dabei geben sie einen Teil des Kohlenstoffdioxids wieder an die Atmosphäre ab (**Atmung**). Der verbleibende Kohlenstoff wird in Blättern, Stämmen, Wurzeln und im Boden gespeichert: All das sind **Kohlenstoffspeicher**.

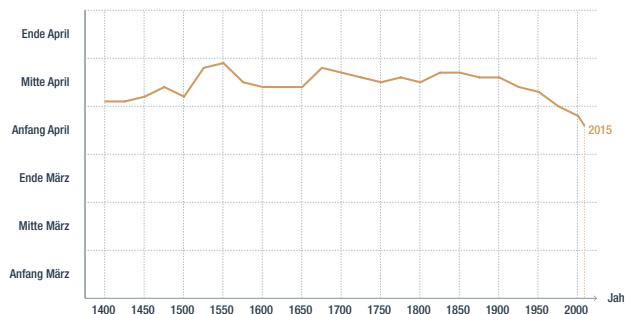
Junge, wachsende Wälder sind eine wichtige **Kohlenstoffsenke**: Kohlenstoff wandert von der Atmosphäre in die organische Substanz der Bäume – das ist einer der **Kohlenstoffflüsse**. Kürzlich wurde nachgewiesen, dass auch alte Wälder Kohlenstoffsenken sind. Der Kohlenstoff wird in den Wäldern gespeichert, Wälder sind daher **Kohlenstoffspeicher**.

Der Kohlenstoff zirkuliert zwischen den verschiedenen Speichern: Atmosphäre, Biosphäre, Boden usw.: Das ist der **Kohlenstoffkreislauf**.

Nach Angaben von IPCC-Expert:innen ändern sich mit dem Klimawandel überall auf der Erde die Niederschlagsmuster. Das wirkt sich auf die Böden und die Pflanzenaktivität aus: In vielen Ökosystemen verändern sich die Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffspeicher.

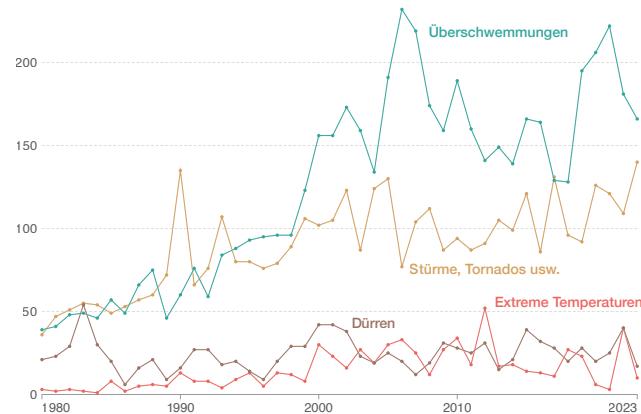
DOKUMENT 10: DER KLIMAWANDEL BEEINTRÄCHTIGT DIE PFLANZEN

DATUM DER KIRSCHBAUMBLÜTE IN JAPAN



Die Kirschbäume beginnen zu blühen, wenn das Wetter warm genug ist. Das Diagramm zeigt, wie sich das Datum der Kirschbaumblüte in Japan über einen Zeitraum von 600 Jahren verschoben hat.

ANZAHL EXTREMER WETTEREREIGNISSE AUF DER ERDE



Quelle: Aono and Kazui, 2008; Aono and Saito, 2010; Aono, (2012); Chikyu Kan-kyo (Global Environment, 17, 21-29) (angepasst)

Quelle: EMDAT (2024): OFDA/ CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain, Brüssel, Belgien, <https://ourworldindata.org/natural-disasters> – CC BY

UNTERRICHTSEINHEIT A – DAS KLIMASYSTEM DER ERDE

UNTERRICHTSSTUNDE 2 DIE GESETZE DER PHYSIK¹

HAUPTFÄCHER	DAUER	ALTER	UNTERRICHTSMETHODE
Physik	Vorbereitung: 10 Minuten (ohne optionale Experimente) Durchführung: 1,5 Stunden (plus einige Stunden für optionale Experimente)	15 Jahre	Experimente Dokumentenanalyse
LERNZIELE Die Schüler:innen führen Experimente durch (manche davon optional), in denen einige der in der vorherigen Stunde erwähnten physikalischen Parameter vorkommen. Sie stellen fest, dass jeder Parameter von mehreren anderen Parametern abhängt (man kann auch sagen: Ein Parameter „ist eine Funktion“ der anderen Parameter). Diese Abhängigkeit kann exakt beschrieben werden, aber nicht unbedingt von den Schüler:innen selbst.			NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ Bereich 2 – Komplexität der Nachhaltigkeit Kompetenz 2.3 – Problemformulierung
SCHLÜSSELBEGRIFFE Strahlung, Infrarot, Absorption, Emission, durchsichtig/nicht durchsichtig			

VORBEREITUNG 10 MINUTEN

- Drucken Sie für jede:n Schüler:in die **ARBEITSBLÄTTER 2.1 bis 2.6** aus.
- Drucken Sie die **ARBEITSBLÄTTER** zu den optionalen Experimenten aus.

→ TIPP FÜR LEHRENDE

In der Oberstufe kommt die „mathematische Funktion“ in allen Lehrplänen vor (Lesen eines Diagramms, Verwendung von Tabellendaten, Ableiten von Funktionen). Hier geht es lediglich darum, die Idee einzuführen, dass jeder der in Klimamodellen verwendeten physikalischen Parameter als Funktion einer oder mehrerer weiterer Parameter beschrieben werden kann. So hängt zum Beispiel die Wasserverdunstung von der Lufttemperatur, der Wassertemperatur, der Windgeschwindigkeit, der Luftfeuchtigkeit ab.

Es gibt viele Möglichkeiten, diese Unterrichtsstunde durchzuführen: Die Schüler:innen können einige oder alle Experimente selbst durchführen oder eine Literaturrecherche machen. Die Klasse kann an einem einzelnen Thema arbeiten oder in Gruppenarbeit mehrere Aspekte gleichzeitig untersuchen und zum Schluss zusammenarbeiten. Die erste (obligatorische) Hälfte der Unterrichtsstunde befasst sich mit dem Treibhauseffekt. Für die jüngeren Schüler:innen kann das dazugehörige Experiment schwierig sein, da eine professionelle Wärmebildkamera (auch Infrarot-Kamera genannt) eingesetzt wird. Dennoch können die Arbeitsblätter als Grundlage für die Diskussion mit der Klasse dienen.

EINLEITUNG 5 MINUTEN

In der vorherigen Unterrichtsstunde haben die Schüler:innen viele Parameter kennengelernt, die bei der Untersuchung des Klimawandels berücksichtigt werden müssen. Es stellen sich zwei Fragen: *Wie variieren diese Parameter? Und: Wissen die Schüler:innen, was der Treibhauseffekt ist?*

DURCHFÜHRUNG 1 STUNDE 20 MINUTEN

TEIL 1: WIE FUNKTIONIERT DER TREIBHAUSEFFEKT? 50 MIN.

Unabhängig davon, ob die Schüler:innen die Experimente durchführen oder die verschiedenen Arbeitsblätter bearbeiten, hilft die folgende Vorgehensweise, die vorgestellten physikalischen Gesetze zu verstehen.

ARBEITSBLATT 2.1 – DOKUMENT 1

Was sehen deine Augen?

Alle abgebildeten Objekte sind heiß und strahlen Licht aus. **Die Intensität und die Farbe der ausgesandten Strahlung hängen von der Temperatur des Objekts ab.**

ARBEITSBLATT 2.1 – DOKUMENT 2

Was sieht die Wärmebildkamera?

Auf dem Bildschirm der Wärmebildkamera sieht man den erhitzten Metallstab. Mit bloßem Auge ist er nicht sichtbar – er ist zu „kalt“ (< 700 °C). Die verschiedenen Farben des Stabs auf dem Bildschirm zeigen die jeweilige Temperatur an den verschiedenen Stellen an. Man könnte nun fälschlicherweise annehmen, dass die Kamera Temperaturen misst! Sie misst aber die von einem Objekt emittierte Strahlung.

1 Ein herzliches Dankeschön an Dr. Valentin Maron, Physikdidaktiker am INSPE (EFTS-Labor) in Toulouse, Frankreich. Die Idee zu dieser Aktivität und die Fotos stammen von ihm.

ARBEITSBLATT 2.2 – DOKUMENT 3

Was sieht man auf dem Bildschirm der Wärmebildkamera?

Wenn die Wärmebildkamera tatsächlich die Temperatur misst, sollten wir den Mann in hellen Farben sehen (bei 33-37°C) und den Rest des Raums in einem dunkleren Farbton (wahrscheinlich bei 15-20°C).

ARBEITSBLATT 2.2 – DOKUMENT 4

Was sieht man tatsächlich auf dem Bildschirm?

Wir sehen den Mann in hellen Farben, aber der Rest der Szene ist nicht völlig dunkel. Wir sehen auch das Spiegelbild des Mannes. Die Temperatur der Glasscheibe sollte etwa der Temperatur des Raumes entsprechen. Die Kamera detektiert also eine Strahlung, die **für unsere Augen unsichtbar ist. Diese Strahlung wird Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) genannt.**

Die Farbskala spiegelt die Strahlungsintensität wider: Eine starke IR-Strahlungsintensität wird gelb-weiß, eine schwache lila-schwarz dargestellt.

ARBEITSBLATT 2.3 – DOKUMENT 5

Wie groß ist die IR-Strahlung dieser beiden Tassen?

Zunächst ist offensichtlich: Je wärmer der Gegenstand ist, desto mehr IR-Strahlung emittiert er. Die Schüler:innen sollen nun die mit sichtbarem Licht und mit IR-Licht aufgenommenen Bilder vergleichen: Sichtbares Licht gelangt sowohl durch den heißen Wasserbecher (wir können die Farbe des Pullovers des Mannes „sehen“) als auch durch den kalten Wasserbecher. Bei IR-Licht ist das nicht der Fall: Die IR-Strahlung der beiden Becher „verdeckt“ die IR-Strahlung des Mannes.

Frage: Liegt es am Wasser oder am Glas?

ARBEITSBLATT 2.3 – DOKUMENT 6

Wie transparent sind diese Stoffe?

Das sichtbare Licht durchdringt die Glasscheibe, die Plastikfolie und den Wasserbecher. Für die IR-Strahlung ist dagegen nur die Plastikfolie durchlässig, während das Glas und das Wasser die IR-Strahlung absorbieren.

Zusammenfassung: *Wir haben die Wechselwirkungen zwischen Licht (IR und sichtbar) und Materie (fest und flüssig) gesehen.*

Frage: Können Gase IR-Strahlung emittieren? Können Gase IR-Strahlung absorbieren?

ARBEITSBLATT 2.4 – DOKUMENT 7

Experimente zur Transparenz und Emissionsstrahlung von Gasen

Gase emittieren keine sichtbare Strahlung – wir sehen sie nicht! Sie sind im sichtbaren Licht transparent. Mit der Wärmebildkamera kann man jedoch die von den Gasen emittierte IR-Strahlung detektieren: **CO₂ emittiert bei 30°C mehr IR-Strahlung als Luft.**

Beide kalten Ballons sind dagegen für IR-Strahlung undurchlässig: Sie absorbieren die Strahlung des wärmeren Hintergrunds und lassen diese nicht durch. Dies zeigt, dass **CO₂ ein Treibhausgas ist.** Kaltes CO₂ absorbiert mehr IR-Strahlung als Luft.

ARBEITSBLATT 2.5 – DOKUMENT 8

Ein Strahlungsgleichgewicht herstellen

Dieses Arbeitsblatt dient lediglich dazu, eine Diskussion anzustoßen. Ein mögliches Experiment wäre, die Temperatur eines Stücks Wellblech zu messen, das draußen im direkten Sonnenlicht liegt. Die Temperatur würde ansteigen, bis ein Plateau erreicht ist. Es ist jedoch schwierig, zwischen der reflektierten Sonnenstrahlung, der gestreuten Sonnenstrahlung und der emittierten IR-Strahlung zu unterscheiden.

→ TIPP FÜR LEHRENDE

Da die Luft in der Stratosphäre etwa 40°C kälter ist als die Luft an der Erdoberfläche, wollen wir uns im Folgenden auf den „5°C kalten CO₂-Ballon“ konzentrieren (siehe ARBEITSBLATT 2.4).

Was passiert, wenn die Erdatmosphäre plötzlich mehr „kaltes CO₂“ enthält? Die Atmosphäre absorbiert mehr IR-Strahlung (die vom „Planeten Erde“ ausgesandt wird) und weniger IR-Strahlung entweicht ins All.

Infolgedessen ist das Strahlungsgleichgewicht gestört. Da die ausgehende Strahlung geringer ist als die ankommende Strahlung, **steigt die Temperatur des Systems an** (ARBEITSBLATT 2.5). Dadurch nimmt auch die Emission von IR-Strahlung zu (ARBEITSBLATT 2.3, DOKUMENT 5), bis ein **neues Gleichgewicht** erreicht ist (ARBEITSBLATT 2.5).

Das erklärt den Treibhauseffekt.

→ TIPP FÜR LEHRENDE

Das ARBEITSBLATT 2.5 kann verwendet werden, um zu erkunden, welche Klima-Rückkopplungen eine Rolle spielen. Zum Beispiel:

- Die Eiskappen schmelzen, die Albedo nimmt ab: Die ausgehende (reflektierte) sichtbare Strahlung (sichtbares Licht) nimmt ab; um dies auszugleichen, muss die ausgehende IR-Strahlung zunehmen (die Temperatur der Erdoberfläche steigt an).
- Mehr Wasserdampf in der Atmosphäre: Wasserdampf ist ein Treibhausgas – genau wie CO₂: Größere Treibhausmengen in der Atmosphäre bedeutet, dass die Temperatur steigt.

Die Schüler:innen untersuchen diese beiden Rückkopplungen in dem in der Unterrichtsstunde 3 eingeführten Brettspiel. Diese Rückkopplungen werden in der Unterrichtsstunde C3 („Die weiße Kryosphäre und ihre Albedo“) des Lehrerhandbuchs „Ozean und Kryosphäre“ näher untersucht.



TEIL 2: WIE VARIEREN DIE KLIMABEZOGENEN PARAMETER?

30 MINUTEN

Mit Hilfe des **ARBEITSBLATTES 2.5** können die Schüler:innen bereits eine Frage beantworten: *Wovon hängt die Veränderung der Temperatur der Erdoberfläche ab?* Die Antwort sollte folgende Elemente enthalten:

- von der einfallenden Sonnenstrahlung S_{Sonne} ,
- von der reflektierten Sonnenstrahlung $S_{\text{reflektiert}}$,
- von der emittierten IR-Strahlung S_{IR} ,
- usw.

→ TIPP FÜR LEHRENDE

Das „usw.“ ist sehr wichtig. Es gibt weitere Faktoren, die eine Rolle spielen können, die die Schüler:innen übersehen bzw. von den Wissenschaftler:innen noch nicht gut untersucht wurden. Diese Faktoren erklären die Diskrepanzen zwischen den einzelnen Klimamodellen, führen zu Unsicherheiten und Fehlerbalken und werden weiter erforscht, insbesondere um zu ermitteln, wie wichtig sie sind.

Die Antwort lässt sich als Formel zusammenfassen (wobei f ist eine Funktion von' bedeutet):

$$T_{\text{Erdoberfläche}} = f(S_{\text{Sonne}}, S_{\text{reflektiert}}, S_{\text{IR}}, \dots)$$

Die Schüler:innen müssen den genauen Ausdruck der Funktion f nicht kennen (auch die Wissenschaftler:innen kennen ihn nicht unbedingt). Mit einfachen Experimenten (wie z. B. das zum Treibhauseffekt) kann man den Ausdruck für f finden. Oder man verwendet tabellarische Daten von Messungen vor Ort, sie können analytische Ausdrücke ersetzen. Solch eine Formel kann immer weiter verfeinert werden (das wird der Schwerpunkt der Unterrichtsstunde 5 sein).

Mit Hilfe der **ARBEITSBLÄTTER 2.1** bis **2.4** können die Schüler:innen die folgende Frage beantworten: *Wovon hängt die von der Atmosphäre emittierte IR-Strahlung ab?* Sie hängt von den folgenden Parametern ab:

- der Temperatur der Erdoberfläche $T_{\text{Erdoberfläche}}$,
- der Lufttemperatur T_{Luft} ,
- der Menge der Treibhausgase m_{CO_2} , $m_{\text{H}_2\text{O}}$, m_{CH_4} , ...,
- usw.

Oder als Formel:

$$S_{\text{IR}} = f(T_{\text{Erdoberfläche}}, T_{\text{Luft}}, m_{\text{CO}_2}, m_{\text{H}_2\text{O}}, m_{\text{CH}_4}, \dots)$$

Die Schüler:innen können leicht feststellen, dass diese beiden Formeln über die Parameter $T_{\text{Erdoberfläche}}$ und S_{IR} mathematisch miteinander verknüpft sind, was zeigt, dass es in diesem System eine Rückkopplungsschleife gibt.

ARBEITSBLATT 2.6 – DOKUMENT 9

Was beschleunigt die Verdunstung von Wasser?

Erinnern Sie die Klasse daran, dass Wasser (H_2O) eines der Treibhausgase in der Erdatmosphäre ist (tatsächlich das wichtigste). Es ist für den größten Teil des Treibhauseffekts verantwortlich und somit dafür,

dass der Planet die uns bekannten Lebensformen beherbergt, indem seine Oberflächentemperatur im Mittel $+15^\circ\text{C}$ beträgt (statt -18°C ohne Treibhauseffekt).

Was könnte ausschlaggebend dafür sein, wie viel Wasser verdunstet (in einem bestimmten Zeitraum)?

Die Wassertemperatur, die Windgeschwindigkeit, die Lufttemperatur usw.

→ TIPP FÜR LEHRENDE

Sie können die folgenden Experimente durchführen. Füllen Sie etwas Wasser in eine Flasche, stellen Sie eine Untertasse auf die Öffnung und legen Sie einen Eiswürfel darauf.

- Versuch 1: Variieren Sie die Wassertemperatur (kaltes, warmes und heißes Wasser).
- Versuch 2: Variieren Sie die Lufttemperatur (kalte, warme und heiße Luft). In beiden Fällen müssen Sie die Wassermenge in der Untertasse qualitativ abschätzen.

Eine Alltagsfrage wäre: *Was lässt eure Wäsche schneller trocknen?* Verteilen Sie das **ARBEITSBLATT 2.6**. Die Schüler:innen sollten zu folgendem Schluss kommen: Die in einer bestimmten Zeitspanne verdunstete Wassermenge ($m_{\text{H}_2\text{O-verdunstet}}$) hängt ab von:

- der Lufttemperatur T_{Luft} ,
- der Wassertemperatur T_{Wasser} ,
- der Sonneneinstrahlung S_{Sonne} ,
- dem Wind und dessen Geschwindigkeit V_{Wind} ,
- der Luftfeuchtigkeit F_{Luft} ,
- der Berührungsfläche zwischen Luft und Wasser $A_{\text{Luft/Wasser}}$,
- usw.

Oder als Formel:

$$m_{\text{H}_2\text{O-verdunstet}} = f(T_{\text{Luft}}, T_{\text{Wasser}}, S_{\text{Sonne}}, V_{\text{Wind}}, F_{\text{Luft}}, A_{\text{Luft/Wasser}}, \dots)$$

OPTIONALE EXPERIMENTE

Die folgenden Experimente können in beliebiger Reihenfolge, oder sogar von verschiedenen Gruppen parallel durchgeführt werden.

DIE REFLEKTIERTE SONNENSTRAHUNG HÄNGT AB VON ... 1 STUNDE 30 MINUTEN

Führen Sie das in der Unterrichtsstunde C3 des Lehrerhandbuchs „Ozean und Kryosphäre“ beschriebene Experiment zur Untersuchung der Albedo durch, oder beziehen Sie sich darauf. Die Schlussfolgerung ist, dass die Sonnenstrahlung, die ein Objekt oder eine Oberfläche in den Weltraum zurücksendet, abhängt von:

- der Menge der Sonnenstrahlung, die das Objekt/die Oberfläche erreicht S_{Sonne} ,
- dem Reflexionsvermögen des Objekts/der Oberfläche, genannt Albedo $R_{\text{Oberfläche}}$,
- usw.

$$S_{\text{Sonne-reflektiert}} = f(S_{\text{Sonne}}, R_{\text{Oberfläche}}, \dots)$$



DIE NATÜRLICHEN CO₂-EMISSIONEN HÄNGEN AB VON ...

1 STUNDE

Führen Sie das in der Unterrichtsstunde A5 des Lehrerhandbuchs „Klimawandel und Landsysteme“ beschriebene Experiment zur Untersuchung der Photosynthese durch, oder beziehen Sie sich darauf. Das Experiment zeigt, dass die Vegetation sowohl als CO₂-Senke als auch als CO₂-Quelle herhalten kann. Ob Photosynthese betreibende Pflanzen eine CO₂-Senke sind, hängt ab von:

- der Masse der Photosynthese betreibenden Organismen $m_{Photosynthese}$,
- der Sonneneinstrahlung, die die Pflanzen erreicht S_{Sonne} ,
- usw.



$$m_{CO_2\text{-Photosynthese}} = f(S_{Sonne}, m_{Photosynthese}, \dots)$$

Die Atmung von Lebewesen (auch von Photosynthese betreibenden Pflanzen) ist eine CO₂-Quelle, die abhängt von:

- der Masse der Lebewesen $m_{Lebewesen}$,
- usw.

$$m_{CO_2\text{-Atmung}} = f(m_{Lebewesen}, \dots)$$

MENSCHENGEMACHTE CO₂-EMISSIONEN HÄNGEN AB VON ... 1 STUNDE 30 MINUTEN

Führen Sie das in der Unterrichtsstunde A6 des Lehrerhandbuchs „Klimawandel und Landsysteme“ beschriebene Experiment zur Untersuchung der Verbrennung fossiler Brennstoffe durch, oder beziehen Sie sich darauf. Die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe emittierte CO₂-Menge, $m_{CO_2\text{-Verbrennung}}$, hängt von der Masse der verschiedenen Brennstoffe ab, die tatsächlich verbrannt werden:



$$m_{CO_2\text{-Verbrennung}} = f(m_{verbrannte Kohle}, m_{verbranntes Öl}, \\ m_{verbranntes Holz}, m_{verbranntes Gas}, \dots)$$

$m_{CO_2\text{-Verbrennung}} = f(m_{verbrannte Kohle}, m_{verbranntes Öl}, m_{verbranntes Holz}, m_{verbranntes Gas}, \dots)$
 $T_{Oberfläche} = f(S_{Sonne}, S_{reflektiert}, S_{IR}, \dots)$
 $S_{Sonne \text{ reflektiert}} = f(S_{Sonne}, R_{Oberfläche}, \dots)$
usw.

Das Prinzip der Klimamodellierung: eine Reihe miteinander verbundener physikalischer Variablen

DIE BEWEGUNG VON FLUIDEN HÄNGT AB VON ...

1 STUNDE 30 MINUTEN

Führen Sie das in der Unterrichtsstunde C5 des Lehrerhandbuchs „Ozean und Kryosphäre“ beschriebene Experiment zur Untersuchung der Meeresströmungen durch, oder beziehen Sie sich darauf. Die Geschwindigkeit eines bestimmten Volumens eines Fluids (Gas oder Flüssigkeit) V_{Fluid} hängt ab von:



- der Differenz zwischen der Temperatur des Fluids und der Umgebungstemperatur (ΔT),
- der Differenz zwischen dem Salzgehalt des Fluids und dem Salzgehalt der Umgebung (ΔS),
- der Höhe des Ortes, an dem sich das Fluid befindet H_{Ort} ,
- usw.

$$V_{Fluid} = f(\Delta T, \Delta S, H_{Ort}, \dots)$$

ZUSAMMENFASSUNG 5 MINUTEN

Das Ziel dieser Übung war zu zeigen, dass Wissenschaftler:innen die Abhängigkeiten zwischen physikalischen Größen herausfinden müssen. Diese Abhängigkeiten können als Gleichungen dargestellt werden, die alle diese physikalischen Größen, auch Variablen genannt, beinhalten. **Die Verknüpfung aller Variablen durch Formeln** ist das eigentliche Prinzip der **Klimamodellierung**.



ARBEITSBLATT 2.1

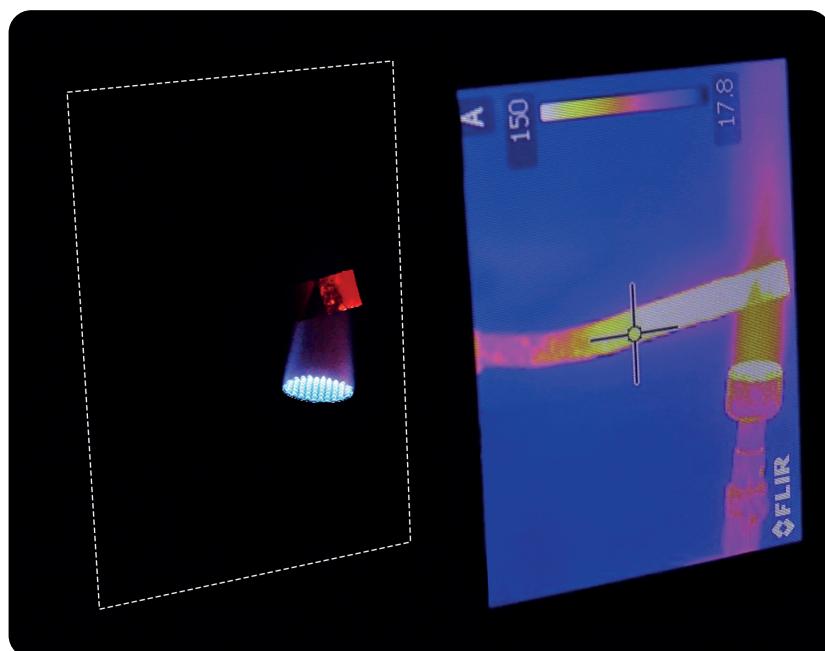
DOKUMENT 1: WAS SEHT IHR?

- Frage 1:** Was seht ihr in diesen Bildern?
Frage 2: Wie erklärt ihr euch die Farben?



DOKUMENT 2: DIE WÄRMEBILDKAMERA I

- Frage 3:** Was sieht die Wärmebildkamera?



Links: Ein Kupferstab wird zum Glühen gebracht.
Rechts: Die Anordnung wird mit der Wärmebildkamera beobachtet.

ARBEITSBLATT 2.2



DOKUMENT 3: DIE WÄRMEBILDKAMERA II

Frage 4: Was denkt ihr, was auf dem Bildschirm zu sehen ist?



DOKUMENT 4: DIE WÄRMEBILDKAMERA III

Frage 5: Was ist auf der Wärmebildkamera zu sehen?



ARBEITSBLATT 2.3



DOKUMENT 5: DIE WÄRMEBILDKAMERA IV

Frage 6: Beschreibt die Infrarot-Emission dieser Tassen.



Heißes und kaltes Wasser in einer Tasse



Die Anordnung wird mit der Wärmebildkamera beobachtet.
(Eine Wärmebildkamera misst Unterschiede der IR-Strahlungsleistung.)



DOKUMENT 6: DIE WÄRMEBILDKAMERA V

Frage 7: Wie transparent sind diese Materialien?



Glasscheibe



Glasscheibe



Plastikfolie und mit Wasser gefüllte Tasse

ARBEITSBLATT 2.4



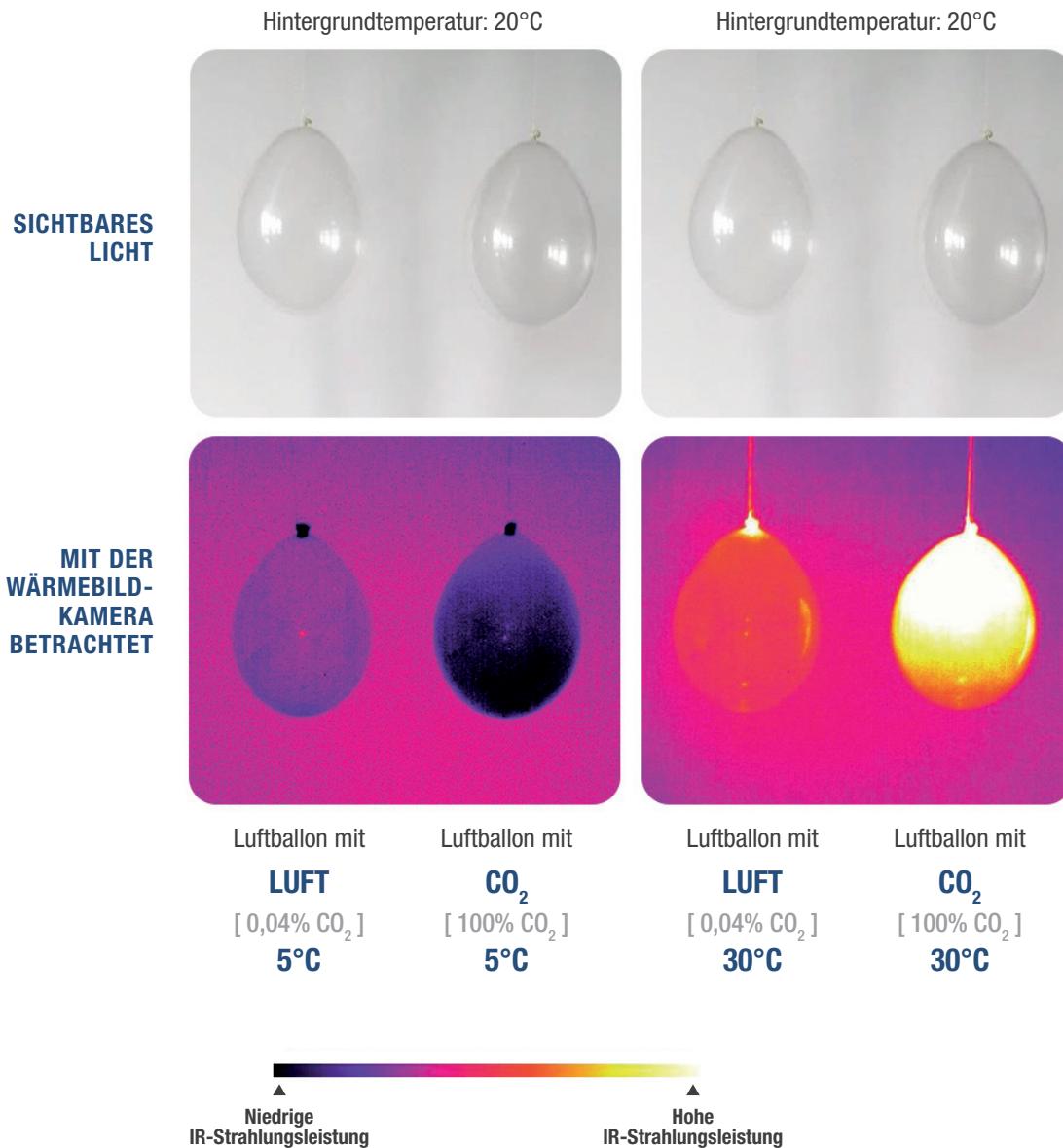
DOKUMENT 7: EXPERIMENTE ZUR TRANSPARENZ UND STRAHLUNGSEMISSION VON GASEN

Frage 8: Können Gase sichtbare Strahlung (sichtbares Licht) emittieren?

Frage 9: Können Gase Infrarotstrahlung emittieren?

Frage 10: Sind Gase für sichtbare Strahlung transparent?

Frage 11: Sind Gase für Infrarotstrahlung transparent?



ARBEITSBLATT 2.5



DOKUMENT 8: EIN STRAHLUNGSGLEICHGEWICHT HERSTELLEN

- Frage 12:** Wie ändert sich die von der Erde emittierte Infrarotstrahlung, wenn es mehr „kaltes CO₂“ in der Erdatmosphäre gibt?
(Hinweis: Verwende ARBEITSBLATT 2.4 – FRAGE 11)
- Frage 13:** Das System „Planet Erde“ hat nur eine Möglichkeit, das Strahlungsgleichgewicht wieder zu erreichen. Welche?

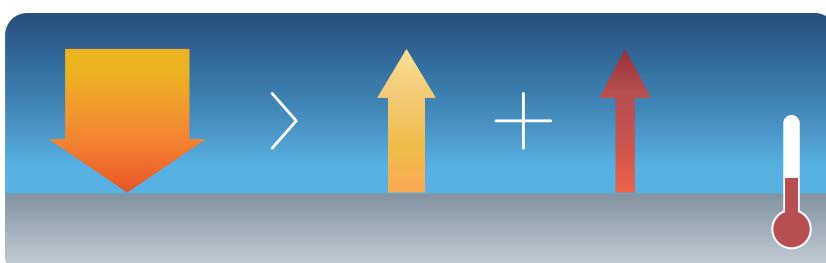
Betrachten wir einen Gegenstand (grau), der sich im Vakuum (blau) befindet.



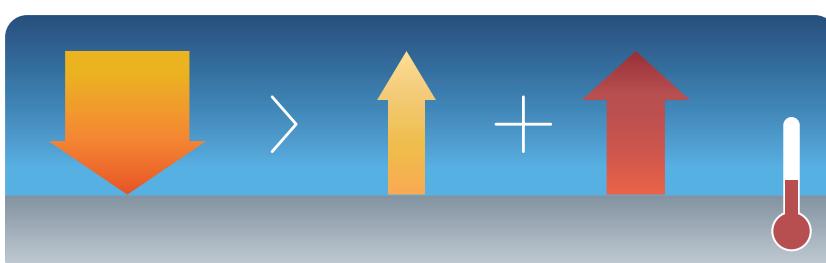
Wie wir im ARBEITSBLATT 2.1 gesehen haben, emittieren Gegenstände Strahlung – je nach ihrer Temperatur. Liegt die Temperatur unter 700°C, emittiert der Gegenstand Strahlung im Infrarotbereich.



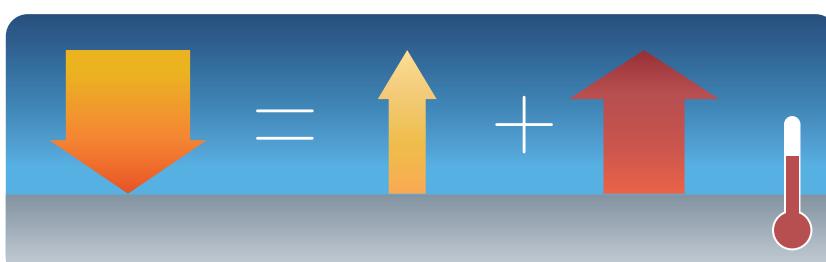
Wenn die Sonne auf unseren Gegenstand scheint (gelb-orangener Pfeil nach unten), dann wird ein Teil dieser einfallenden Strahlung vom Gegenstand absorbiert und ein Teil (gelber Pfeil) ins All zurückgeworfen.



Dieser Zustand ist nicht im Gleichgewicht, da die gesamte ausgehenden Strahlung kleiner ist als die ankommende Strahlung: Die Temperatur des Gegenstands steigt an.



Wie wir im ARBEITSBLATT 2.3 – DOKUMENT 5 gesehen haben, ist die Strahlungsemision umso stärker, je wärmer der Gegenstand ist. Die von unserem Gegenstand emittierte Infrarotstrahlung nimmt also zu.



Die Temperatur des Gegenstands steigt so lange an, bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Danach bleibt die Temperatur konstant. Dies wird als **Strahlungsgleichgewicht** bezeichnet. Der gleiche Prozess findet im System „Planet Erde“ statt.

ARBEITSBLATT 2.6



DOKUMENT 9: WAS BESCHLEUNIGT DIE VERDUNSTUNG VON WASSER?

Frage 14: Schaut euch die Bilder an. In welcher Situation verdunstet das Wasser schneller? Welche Parameter beschleunigen die Verdunstung?



UNTERRICHTSSTUNDE 3 KLIMAMODELL-BRETTSPIEL

HAUPTFÄCHER Physik, Chemie Naturwissenschaften Geografie	DAUER Vorbereitung: 1 Stunde Durchführung: 1 Stunde	ALTER > 15 Jahre	UNTERRICHTSMETHODE Serious Game (Brettspiel)
LERNZIELE Nachdem die Schüler:innen die Faktoren identifiziert haben, die das Klima beeinflussen (Unterrichtsstunden 1 und 2), erkunden sie, wie diese Faktoren miteinander verknüpft sind und das Klimagesystem der Erde bilden. Sie erkennen, dass verschiedene Umgebungen miteinander wechselwirken, da sie von den gleichen Variablen beeinflusst werden (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit). Eine Veränderung der Variablen kann zu positiven oder negativen Rückkopplungsschleifen innerhalb des Klimagesystems führen.		NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ Bereich 2 – Komplexität der Nachhaltigkeit Kompetenz 2.1 – Systemorientiertes Denken	

VORBEREITUNG 1 STUNDE

WIE MAN DAS BRETTSPIEL AUFBAUT

- Brettspiel: Drucken Sie das **ARBEITSBLATT 3.1** im A2-Format aus. Es wird ein Brettspiel pro Gruppe von sechs Schüler:innen benötigt. Wenn möglich, laminieren Sie es.
- Elemente für das Brettspiel: Drucken Sie das **ARBEITSBLATT 3.2** aus und schneiden Sie die verschiedenen Elemente aus. Stecken Sie sie in einen Umschlag, damit sie leicht wiederverwendet werden können.
- Wir empfehlen einen Patafix-ähnlichen Klebstoff zu verwenden, um die verschiedenen Elemente auf dem Brettspiel zu befestigen.
- Drucken Sie für jede Gruppe das **ARBEITSBLATT 3.3** (5 Seiten) aus. Wenn Sie es möchten, können Sie daraus ein kleines Heftchen basteln.

Sie können die Lösungen (**ARBEITSBLATT 3.5**, 3 Seiten) ausdrucken, damit die Schüler:innen ein zusammenfassendes Diagramm im Kopf behalten.



SPIELREGELN

- Das Erdsystemspiel enthält fünf verschiedene Umgebungen. Zu Beginn ist das **Klima ungestört**, das heißt von menschlichen Aktivitäten unbeeinflusst, und die fünf Umgebungen sind „leer“. Ziel von **Runde 1** ist es, die Umgebungen und die darin ablaufenden Prozesse zu rekonstruieren, indem die Anweisungen auf den Karten befolgt und die verschiedenen Elemente (manche Variablen gibt es mehrfach: z. B. die Temperatur, die Feuchtigkeit, die Albedo usw.) auf dem Brett platziert werden. Die Schüler:innen bauen ein Modell.
- In **Runde 2** wird das Klima durch **menschliche Aktivitäten verändert** und die Schüler:innen müssen die Umgebung entsprechend anpassen. Sie führen anhand eines Modells ein Experiment durch. Am Ende dieser Runde erklären die Schüler:innen der Klasse, was sie herausgefunden haben.
- Runde 3** ist für fortgeschrittene Schüler:innen geeignet [**EXPERT:INNEN**]. In dieser Runde geht es um die Begriffe „Klima-Rückkopplung“ und „Grad des Konsenses einer wissenschaftlichen Behauptung“.

EINLEITUNG 5 MINUTEN

Erinnern Sie die Schüler:innen an den Unterschied zwischen **Klima** und **Wetter**. Zeigen Sie ihnen das CLIM-Video „Das Klimagesystem der Erde“. In dem Video erklärt Fiona O'Connor (MET Office Science, Großbritannien), dass bei der Untersuchung der Atmosphäre viele Parameter berücksichtigt werden: Treibhausgaskonzentrationen, Temperatur, Niederschlag, Albedo usw. (siehe Unterrichtsstunde 1).



- ◀ Zwei Spieler:innen während Runde 3 des Spiels. Eva liest sich ihr Heft durch und befolgt die Anweisungen. Sie verbindet zwei Umgebungen mit positiven Rückkopplungspfeilen (Verstärkung des Klimawandels) und erklärt Simon, warum sie die Pfeile dort hingelegt hat. Für jeden Pfeil wählt sie die richtige Farbe, je nachdem, wie groß der wissenschaftliche Konsens ist.

Jeder Parameter hängt von mehreren anderen ab. Sie sind durch physikalische und chemische Gesetze miteinander verbunden (siehe Unterrichtsstunde 2).

$$S_{IR} = f(T_{\text{Erdoberfläche}}, T_{\text{Luft}}, m_{CO_2}, m_{H_2O}, m_{CH_4}, \dots)$$

Es werden die gleichen Regionen wie in Unterrichtsstunde 1 (**ARBEITSBLATT 1.1**) untersucht. *Gibt es Prozesse, die innerhalb einer Region ablaufen? Welche Verbindungen gibt es zwischen den verschiedenen Klimaregionen? Welches sind die globalen Prozesse, die unseren gesamten Planeten betreffen?* Die Schüler:innen spielen das Klimamodell-Brettspiel, um diese Fragen zu beantworten.

DURCHFÜHRUNG 45 MINUTEN

1. Sechs Schüler:innen teilen sich ein Spielbrett. Es gibt eine:n Spielleiter:in und fünf Wissenschaftler:innen (die jeweils eine der fünf Broschüren haben, **ARBEITSBLATT 3.3**).
2. Die Schüler:innen lesen sich die Spielregeln durch (**ARBEITSBLATT 3.4**) und beginnen mit den Spielrunden 1 und 2. Runde 3 ist für Fortgeschrittene [**EXPERT:INNEN**].
3. Für Runde 3 sind auf den Karten Skalen abgebildet. Sie stellen den Grad des Konsenses dar, den Klimatolog:innen den verschiedenen Rückkopplungen zuschreiben (gering, mittel, stark). Diskutieren Sie mit Ihren Schüler:innen über den Grad des Konsenses im Zusammenhang mit wissenschaftlichen Erkenntnissen.

TIPP FÜR LEHRENDE

Die meisten Rückkopplungspfeile zeigen auf die gleiche Umgebung (die Erdatmosphäre): Die regionalen Prozesse haben allesamt Auswirkungen auf die Atmosphäre.

ZUSAMMENFASSUNG 10 MINUTEN

Fragen Sie die Schüler:innen, wie dieses Brettspiel ihnen geholfen hat, das Klimasystem zu verstehen. **Das Brettspiel ist ein Modell**, eine vereinfachte Darstellung der Realität. Es hilft zu verstehen, was im Zusammenhang mit dem Klimawandel beobachtet wird.

Die **Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Umgebungen** können anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. Der Ausstoß größerer Mengen von Treibhausgasen in die Atmosphäre verstärkt den Treibhauseffekt, wodurch sich die Oberflächentemperatur der Erde erhöht, was wiederum zum Abschmelzen des Meereises führt usw. Diese Prozesse stellen eine Verbindung zwischen der Atmosphäre und der Kryosphäre her. Birgit Hassler, eine Atmosphärenphysikerin, erklärt das in dem CLIM-Video „Können wir den Klimaprojektionen trauen?“.



Runde 3 veranschaulicht die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Umgebungen. Fortgeschrittene Schüler:innen können damit positive und negative Klima-Rückkopplungen erklären. Addiert man alle Klimarückkopplungen die zur Strahlungsbilanz der Erde beitragen, erhält man letztendlich **eine negative Gesamt-Rückkopplung** (Quelle: IPCC, AR6). Das stellt sicher, dass die Oberflächentemperatur der Erde nicht immer weiter ansteigt und außer Kontrolle gerät.

Wissenschaftliche Aussagen zum Klimawandel – zum Beispiel in den IPCC-Berichten – werden oft mit einem **Konfidenzniveau angegeben** (wie wahrscheinlich ist es, dass die Aussage stimmt).

HINTERGRUNDINFORMATIONEN FÜR LEHRENDE

DER KONSENS DER WISSENSCHAFTLER:INNEN

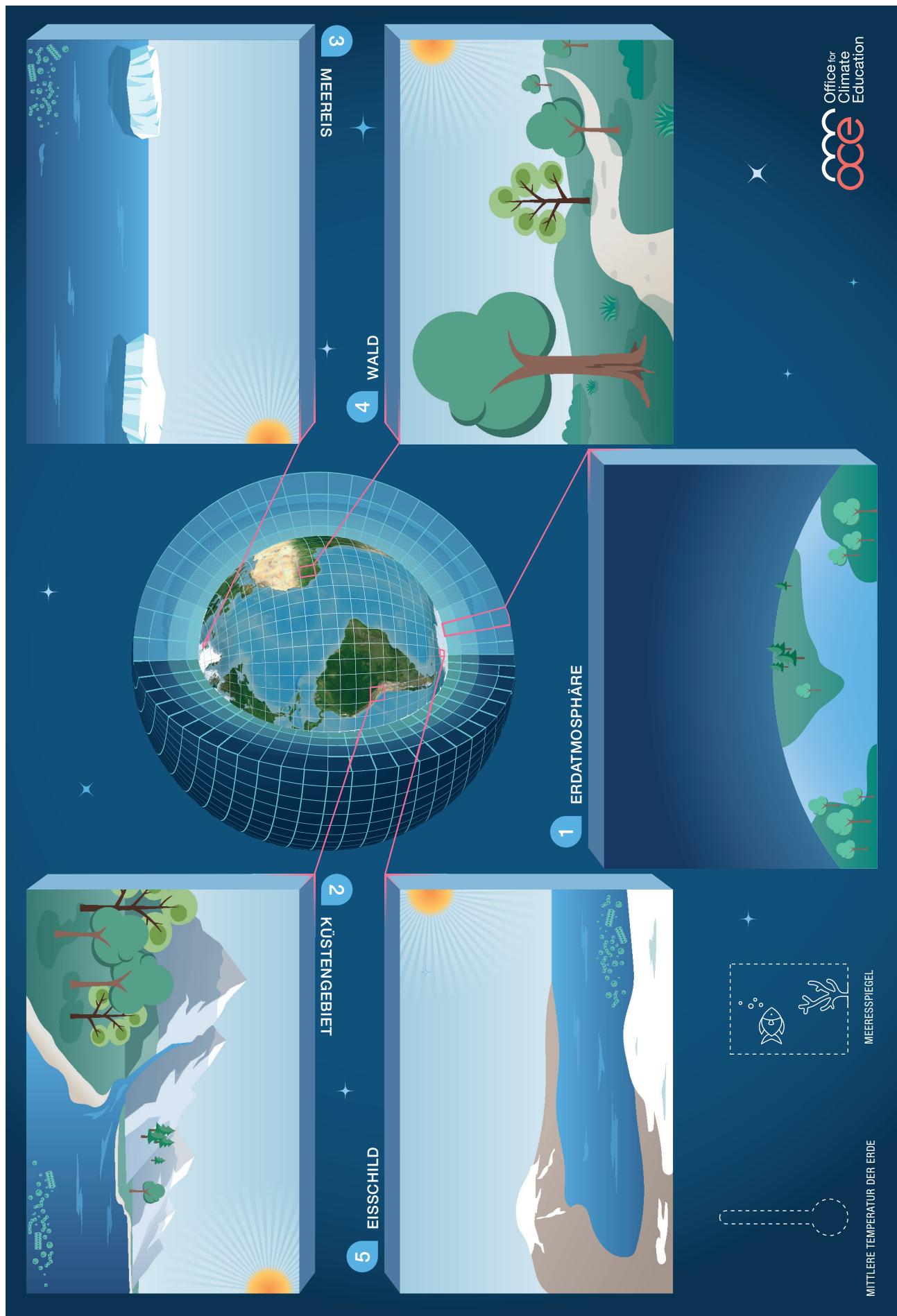
Der IPCC bewertet und stellt die neuesten wissenschaftlichen Informationen über den Klimawandel zusammen und gibt den Konsens der wissenschaftlichen Gemeinschaft wieder. Ein wissenschaftlicher Konsens stützt sich auf eine Reihe von wissenschaftlichen Erkenntnissen, die überprüft werden können und von der wissenschaftlichen Gemeinschaft (Expert:innen) anerkannt werden. Er gilt für einen bestimmten Zeitraum und basiert auf dem aktuellen Wissenstand. So besteht zum Beispiel unter Klimaexpert:innen ein sehr breiter Konsens darüber, dass menschliche Aktivitäten die Ursache für den Klimawandel sind. Ein wissenschaftlicher Konsens ist kein Beweis für eine wissenschaftliche Theorie, sondern vielmehr **das Ergebnis konvergierender Beweislinien**, die alle auf die gleiche Schlussfolgerung hindeuten. Ein wissenschaftlicher Konsens entsteht allmählich, wenn die wissenschaftliche Forschung voranschreitet.

Ein wissenschaftlicher Konsens beruht auf einem hohen Maß an Vertrauen (Übereinstimmung zwischen Wissenschaftler:innen, Gewichtung der Indizien usw.).

Ein wissenschaftlicher Konsens ist nicht unvereinbar mit:

- ~ Divergenzen bei einigen Aspekten eines Themas, über das ansonsten Einigkeit herrscht. Zum Beispiel sind sich die Wissenschaftler:innen derzeit nicht einig darüber, wie stark der Temperaturanstieg bei einer Verdoppelung der atmosphärischen CO₂-Konzentration ausfallen wird. Die Erkenntnisse reichen von 2,5 bis 4,5°C. Dies stellt aber, anders als von Klimaleugner:innen behauptet, die Realität des anthropogenen Klimawandels nicht infrage!
- ~ Dem Begriff der Unsicherheit. Alle wissenschaftlichen Daten sind mit Unsicherheiten verbunden, daher sind es auch die Klimaprojektionen. Es gibt zwei Hauptgründe für die Unwissheit:
 - Klima-Rückkopplungen (durch Wolken, Kohlenstoffaufnahme, Wasserdampf, Meereis usw.);
 - die Menge der zukünftigen Treibhausgasemissionen (die abhängt von Klimapolitik, technischem Fortschritt, Gesetzen, dem Verhalten der Menschen usw.).

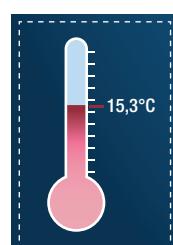
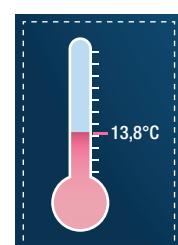
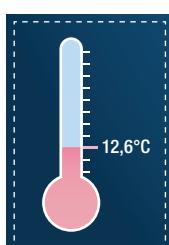
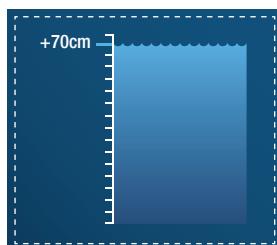
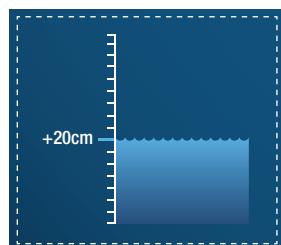
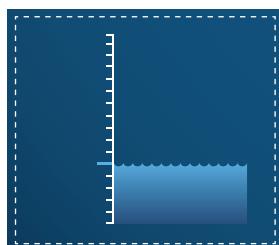
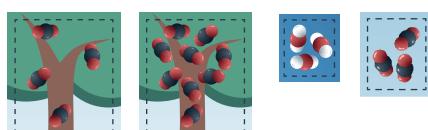
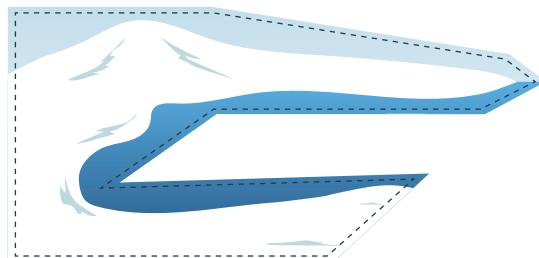
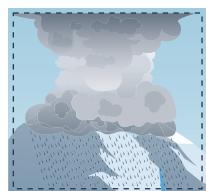
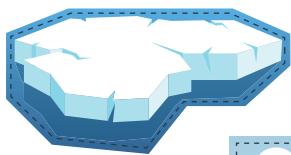
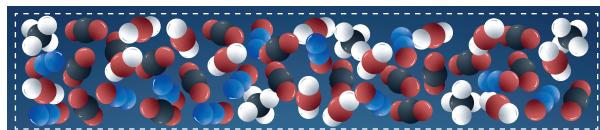
ARBEITSBLATT 3.1 BRETTSPIEL



ARBEITSBLATT 3.2 ELEMENTE FÜR DAS BRETTSPIEL



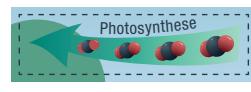
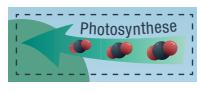
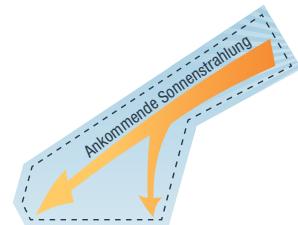
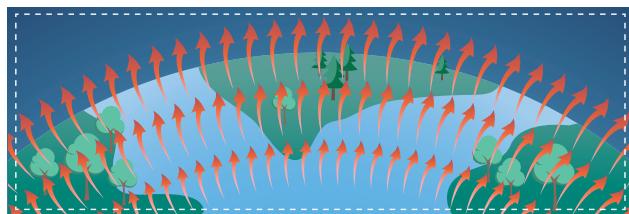
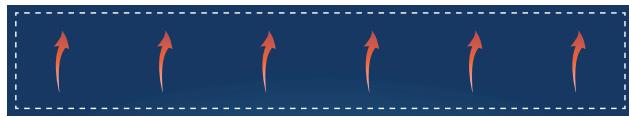
Schneidet die Elemente für das Brettspiel aus.



ARBEITSBLATT 3.2 ELEMENTE



Schneidet die Elemente (Flüsse) für das Brettspiel aus.



VERSTÄRKUNG DES KLIMAWANDELS | HOHER WISSENSCHAFTLICHER KONSENS

+

VERSTÄRKUNG DES KLIMAWANDELS | MITTLERER WISSENSCHAFTLICHER KONSENS

+

BEGRENZUNG DES KLIMAWANDELS | HOHER WISSENSCHAFTLICHER KONSENS

-

BEGRENZUNG DES KLIMAWANDELS | MITTLERER WISSENSCHAFTLICHER KONSENS

-

Jeder Rückkopplungspfeil kann **mehrmals** verwendet werden.

ARBEITSBLATT 3.3 BROSCHEURE 1



RUNDE 1 EIN MODELL KONSTRUIEREN

Den Treibhauseffekt in das Modell einfügen



1 Svante Arrhenius (1859–1927) war ein schwedischer Wissenschaftler. Er war der Erste, der den Zusammenhang zwischen der steigenden CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und dem Anstieg der Oberflächentemperatur der Erde herstellte. Er prägte den Begriff „Treibhauseffekt“.

1 DU BIST EINE: WISSENSCHAFTLER:IN DER ATMOSPHÄRE

Die **Erdoberfläche emittiert Infrarotstrahlung**, die Wärme in die Atmosphäre transportiert. Die Atmosphäre enthält von Natur aus eine Mischung von **Treibhausgasen**, die einen Teil der Infrarotstrahlung einfangen. Das verhindert, dass die gesamte **Infrarotstrahlung in den Weltraum entweicht** und führt dazu, dass die Temperatur an der Erdoberfläche recht angenehm ist und Leben erst möglich macht.

Antwort

Die Oberflächentemperatur der Erde steigt an.
Diskussion zwischen den fünf Wissenschaftler:innen
Wie hoch wäre die Oberflächentemperatur der Erde ohne den Treibhauseffekt?

SEITE 4

RUNDE 3

Klimarückkopplungen

Alle Körper emittieren Wärmestrahlung. Die Intensität der Strahlung nimmt mit der Temperatur des Körpers zu. Auch die Erde gibt mehr Strahlung in den Weltraum ab, wenn sich ihre Oberfläche erwärmt. Dies führt zu einer niedrigeren Oberflächentemperatur und begrenzt wiederum die Erderwärmung.

SEITE 8

RUNDE 3 DIE WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN DEN UMGEBUNGEN VERSTEHEN

Klimarückkopplungen

Die Erderwärmung führt zu einer stärkeren Verdunstung von Wasser, wodurch die Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre steigt. Da Wasserdampf ein Treibhausgas ist, verstärkt dies die globale Erwärmung. Dies ist eine sehr starke positive Rückkopplung.

Verbinde mindestens 2 Umgebungen
mit einem roten Pfeil (Verstärkung)
oder einem violetten Pfeil (Begrenzung)

SEITE 7

↑ Wissenschaftlicher
Konsens
stark ↑ Wissenschaftlicher
Konsens



1 **Erhöhe die Menge der Treibhausgase in der Atmosphäre**, um den Anstieg der vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen nachzuahmen.
Es entweicht weniger Infrarotstrahlung aus der Atmosphäre in den Weltraum. Dies führt zu einem Anstieg der Temperatur der Erdoberfläche. Seit der industriellen Revolution hat sich die Erdoberfläche im Mittel um etwa 1,3°C erwärmt (2024).

RUNDE 2 MIT DEM MODELL EIN EXPERIMENT DURCHFÜHREN

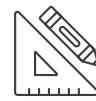
Was simuliert das Modell?

1 Element verändern
1 Fluss verändern
Frage 2: Wie hoch ist die derzeitige Erderwärmung (d. h. um wie viel höher ist die Durchschnittstemperatur auf der Erde heute im Vergleich zur vorindustriellen Temperatur)?

SEITE 6

35

ARBEITSBLATT 3.3 BROSCHEURE 2



RUNDE 1 EIN MODELL KONSTRUIEREN

Den Wasserkreislauf in das Modell einfügen



Flüssiges Wasser auf der Erdoberfläche – in Ozeanen, Seen, Pflanzen usw. – verdunstet in die Atmosphäre (durch **Verdunstung und Evapotranspiration**). Der **Wasserdampf** in der Atmosphäre wird durch **Wind** bewegt. Er kondensiert und bildet kleine Tropfen, aus denen sich Wolken bilden. Die Tropfen in den **Wolken** werden größer und es **regnet**. Dieses flüssige Wasser gelangt also zurück zur Erdoberfläche und fließt in die Seen, Flüsse und Ozeane. Das ist der Wasserkreislauf.

Antwort

Tropische Wirbelstürme, Monsun, Gewitter

Diskussion zwischen den fünf Wissenschaftler:innen

Wo auf der Erde treten diese Ereignisse am häufigsten auf?

SEITE 4

RUNDE 1 HYDROLOGIE

DU BIST EINE: HYDROLOGIN

Du untersuchst Küstengebiete.

Frage 1: Nenne einige Wetterereignisse, bei denen es (stark) regnet.

SEITE 3

RUNDE 3 DIE WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN DEN UMGEBUNGEN VERSTEHEN

Klimarückkopplungen

Die Erderwärmung verändert den Wasserkreislauf, indem sie Größe und Typ der Wolken verändert. Modelle deuten darauf hin, dass sich in niedrigen Breitengraden (unter 60°) hohe Wolken noch höher befinden werden, was den Treibhauseffekt verstärkt. Es wird dagegen weniger niedrige Wolken geben. Die Abbedo wird kleiner und die Temperatur der Erde steigt. Die Summe dieser beiden Prozesse führt zu einem Anstieg der Erdoberflächentemperatur. Dies ist eine positive Klima-Rückkopplung.

Verbinde mindestens 2 Umgebungen
mit einem roten Pfeil (Verstärkung)
oder einem violetten Pfeil (Begrenzung)

mittel ← Wissenschaftlicher Konsens

SEITE 8



2 Emma Haziza, geboren 1977, ist Hydrologin. Sie ist Spezialistin für Naturfahnen, insbesondere für solche, die mit Süßwasser zusammenhängen. In diesem Sinne ist sie eine Expertin für die Anpassung an den Klimawandel.

SEITE 1

RUNDE 2 MIT DEM MODELL EIN EXPERIMENT DURCHFÜHREN

Erhöhe die Temperatur der Erdoberfläche, um die Erderwärmung zu simulieren.

Was simuliert das Modell?

Es simuliert eine Intensivierung des Wasserkreislaufs, mit **mehr Verdunstung und mehr Regen** in einigen Regionen.

1 Element verändern
1 Fluss hinzufügen

Frage 2
In einigen Regionen kann es sowohl mehr Dürren als auch mehr Überschwemmungen geben. Richtig oder falsch?

SEITE 6

RUNDE 3

Klimarückkopplungen

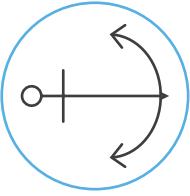
Die Erderwärmung verändert den Wasserkreislauf, indem sie Größe und Typ der Wolken verändert. Modelle deuten darauf hin, dass sich in niedrigen Breitengraden (unter 60°) hohe Wolken noch höher befinden werden, was den Treibhauseffekt verstärkt. Es wird dagegen weniger niedrige Wolken geben. Die Abbedo wird kleiner und die Temperatur der Erde steigt. Die Summe dieser beiden Prozesse führt zu einem Anstieg der Erdoberflächentemperatur. Dies ist eine positive Klima-Rückkopplung.

Verbide mindestens 2 Umgebungen
mit einem roten Pfeil (Verstärkung)
oder einem violetten Pfeil (Begrenzung)

mittel ← Wissenschaftlicher Konsens

SEITE 7

ARBEITSBLATT 3.3 BROSCHEURE 3

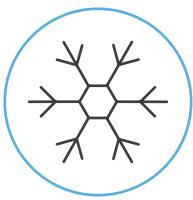
<p>RUNDE 1 EIN MODELL KONSTRUIEREN</p> <p>Die Albedo des Meereises in das Modell einfügen</p>  <p>In der Arktis sind die Temperaturen der Luft und des Meerwassers so niedrig, dass sich an der Meeresoberfläche Meereis bildet. Der größte Teil der Sonnenstrahlung, die auf das Meereis trifft, wird in den Weltraum reflektiert, weil das Eis weiß ist – es hat eine hohe Albedo. Wenn das Meereis schmilzt, wird es durch den dunklen Ozean ersetzt, der einen großen Teil der Sonnenstrahlung absorbiert.</p> <p>3 DU BIST EINE OZEANOGRAF:IN Du untersuchst das Meereis.</p> <p>3 Marie Tharp (1920–2006) ist eine Geologin und Ozeanografin aus den USA. Sie ist bekannt für ihre Arbeiten zur ozeanografischen Kartografie.</p> 	<p>RUNDE 1 Antwort</p> <p>Meereis hat eine hohe Albedo und reflektiert daher den größten Teil der einfallenden Sonnenstrahlung. Dadurch bleibt die Erdoberfläche kühl.</p> <p>DISKUSSION ZWISCHEN DEN FÜNF WISSENSCHAFTLERN</p> <p>Was würde passieren, wenn es kein arktisches Meereis gäbe? Wäre die Temperatur der Erde dann höher oder niedriger als jetzt?</p> <p>SEITE 4</p>	<p>RUNDE 3 Klimarückkopplungen</p> <p>Wenn das Meereis schmilzt, nimmt die Albedo der Erde ab: Es wird weniger Sonnenstrahlung ins All zurückgeworfen. Die Erdoberfläche absorbiert also mehr Strahlung und erwärmt sich. Das führt dazu, dass noch mehr Meereis schmilzt, was die Erdwärmung weiter verstärkt. Das nennt man die polare Verstärkung. Es handelt sich um eine positive Klima-Rückkopplung.</p> <p>VERBINDE MINDESTENS 2 UMGEBUNGEN MIT EINER ROTEN PFEIL (VERSTÄRKUNG) ODER EINM VIOLETTEN PFEIL (BEGRENZUNG)</p> <p>1 Element hinzufügen 2 Flüsse hinzufügen</p> <p>Frage 1 Welche Rolle spielt Meereis im Klimagesystem der Erde?</p> <p>SEITE 3</p>	<p>RUNDE 3 DIE WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN DEN UMGEBUNGEN VERSTEHEN</p> <p>Klimarückkopplungen</p> <p>Die Autor:innen des 6. IPCC-Sachstandsberichts (AR6) haben die Summe aller Klimarückkopplungen abgeschätzt, die direkt mit der einfallenden Sonnenstrahlung zusammenhängen: Rückkopplungen aufgrund von Wolken, Wasserdampf, Albedo, Wärmestrahlung usw. Sie sind zu dem Schluss gekommen, dass die Summe all dieser Rückkopplungen zu einer negativen Klima-Rückkopplung führt (mittleres Konfidenzintervall). Das würde sicherstellen, dass die Temperatur der Erdoberfläche nicht unkontrolliert ansteigt.</p> <p>WISSENSCHAFTLICHER KONSENS</p> <p>mittel — WISSENSCHAFTLICHER KONSENS</p> <p>SEITE 8</p>
<p>RUNDE 2 MIT DEM MODELL EIN EXPERIMENT DURCHFÜHREN</p> <p>Erhöhe die Temperatur der Erdoberfläche, um die Erderwärmung zu simulieren.</p> <p>Was simuliert das Modell?</p> <p>Das Modell simuliert das Schmelzen des Meereises, was zu einer geringeren Albedo führt (weniger Sonnenstrahlung wird von der Erdoberfläche reflektiert).</p> <p>1 Element entfernen 1 Fluss entfernen</p> <p>Frage 2 Kann das Schmelzen des Meereises die ursprünglich in das Modell eingeführte Erderwärmung verstärken?</p> <p>SEITE 5</p>	<p>RUNDE 2 Antwort</p> <p>Ja, weniger Meereis bedeutet weniger reflektierte Sonnenstrahlung. Die überschüssige Sonnenstrahlung wird vom Ozean absorbiert, der sich dadurch erwärmt, was zu einem weiteren Abschmelzen des Meereises führt usw. Dies ist eine positive Klima-Rückkopplungsschleife.</p> <p>WISSENSCHAFTLICHER KONSENS</p> <p>stark ↑ WISSENSCHAFTLICHER KONSENS</p> <p>SEITE 6</p>		

ARBEITSBLATT 3.3 BROSCHEURE 5



RUNDE 1 EIN MODELL KONSTRUIEREN

Kontinentaleis in das Modell einfügen



Die Antarktis ist der größte mit Eis bedeckte Kontinent. Der andere große Eisschild auf der Erde ist Grönland. Kontinentaleis bildet sich, wenn sich **Schnee** auf einer Landoberfläche über einen sehr langen Zeitraum ansammelt und verdichtet.

5 DU BIST EINE: GLAZILOG:IN

Du untersuchst Eisschilde.

5 Louis Agassiz (1807–1873) war ein schweizerisch-amerikanischer Glaziologe. Er war der Erste, der die Existenz vergangener Ezeiten vermutete.

RUNDE 2 MIT DEM MODELL EIN EXPERIMENT DURCHFÜHREN

Erhöhe die Temperatur der Erdoberfläche, um die Erderwärmung zu simulieren.

Was simuliert das Modell?

Das Modell simuliert das Abschmelzen des **Kontinentaleises**. Das führt zu einem **Anstieg des Meeresspiegels um +70 cm.**

- 1 Element entfernen
- 2 Elemente hinzufügen

Frage 2
Führt das Abschmelzen des Meereises in der Arktis auch zu einem Anstieg des Meeresspiegels?

SEITE 1

SEITE 5

SEITE 6

SEITE 7

SEITE 8

RUNDE 1

Antwort

Fast das gesamte Eis der Antarktis ist Kontinentaleis. Es ist komprimierter Schnee, der einen Kontinent bedeckt. In der Arktis gibt es keinen Kontinent: Das Meereis bildet sich aus gefrorenem Wasser an der Meeresoberfläche.

Diskussion zwischen den fünf

Wissenschaftler:innen

Nenne andere Orte auf der Erde (außer der Antarktis), wo Kontinentaleis vorkommt.

SEITE 4

RUNDE 3

Klimarückkopplungen

Mit dem Klimawandel steigen die Temperaturen: Dürreperioden werden häufiger, was zu mehr Waldbränden führt. Durch die Verbrennung von Vegetation (organischem Material) gelangen große Mengen an Aerosolen in die obere Atmosphäre. Diese Aerosole wirken wie ein Schutzschild: Weniger Sonneneinstrahlung erreicht die Erdoberfläche, was den Klimawandel abschwächt. Dies ist eine negative Rückkopplung.

Verbinde mindestens 2 Umgebungen
mit einem roten Pfeil (Verstärkung)
oder einem violetten Pfeil (Begrenzung)



Wissenschaftlicher
mittel
Konsens

SEITE 3

SEITE 2

SEITE 1

RUNDE 3

DIE WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN DEN UMGEBUNGEN VERSTEHEN

Klimarückkopplungen

Das Schmelzen von Kontinentaleis – Eisschilden oder Gletschern – verringert die Albedo der Erde, d. h. es wird weniger Sonnenstrahlung ins All zurückgeworfen. Infolgedessen absorbiert die Erdoberfläche mehr Strahlung und erwärmt sich. Dies verstärkt die Erderwärmung. Dies ist eine positive Rückkopplung.

Verbinde mindestens 2 Umgebungen
mit einem roten Pfeil (Verstärkung)
oder einem violetten Pfeil (Begrenzung)



Wissenschaftlicher
mittel
Konsens

ARBEITSBLATT 3.4

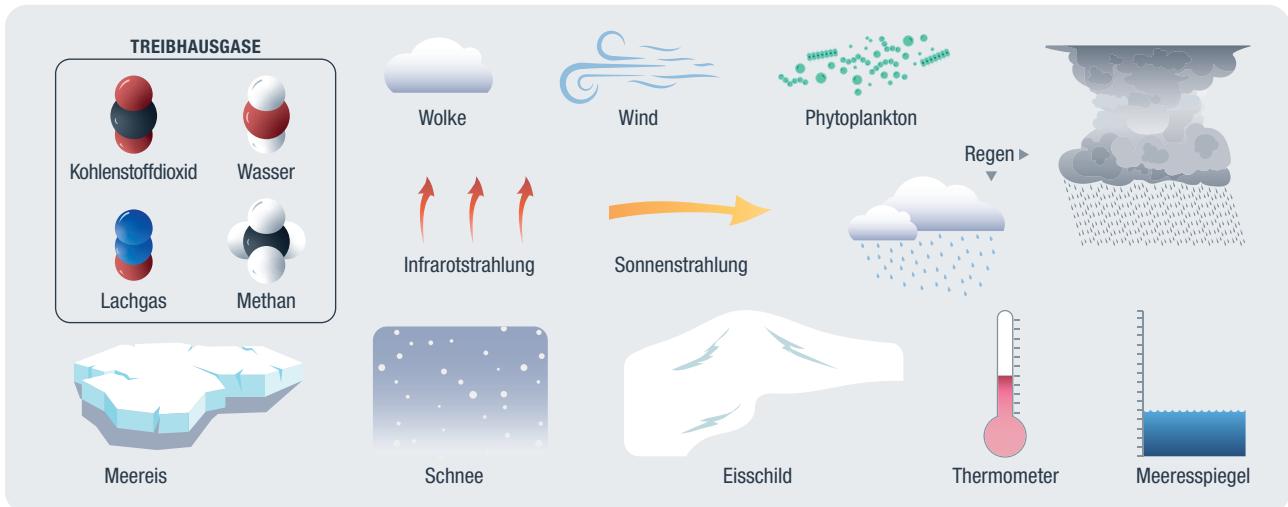


SPIELREGELN

SPIELVORBEREITUNG: DER/DIE SPIELLEITER:IN

- Stellt das Thermometer auf +12,6°C (die durchschnittliche Temperatur auf der Erde in der vorindustriellen Zeit).
- Stellt den Meeresspiegel auf den niedrigsten Stand (den vorindustriellen Meeresspiegel).
- Lest in der Broschüre nach, wie die verschiedenen Elemente auf dem Brett zu platzieren sind.

LEGENDE EINIGER ELEMENTE



RUNDE 1: EIN MODELL KONSTRUIEREN

- Der/die Spielleiter:inachtet darauf, dass die Wissenschaftler:innen jeden Spielabschnitt genau einhalten.
- Die fünf Wissenschaftler:innen stellen sich nacheinander vor und lesen „ihre“ Anweisungen laut vor.
- In dieser Runde geht es um das „ungestörte Klima“, also das Klima vor der Industrialisierung.
- Die fünf Wissenschaftler:innen arbeiten zusammen, um die verschiedenen Umgebungen gemäß den Anweisungen in den Heften aufzubauen und die Fragen zu beantworten.

Sind alle fünf Modelle fertig, müssen nun „Elemente“ und/oder „Flüsse“ gemäß den Anweisungen hinzugefügt oder entfernt werden.

RUNDE 2: MIT DEM MODELL EIN EXPERIMENT DURCHFÜHREN

- In Runde 2 ist das Klima der Erde aufgrund der Erderwärmung „gestört“.
- Der/die Spielleiter:in stellt das Thermometer auf die aktuelle durchschnittliche Temperatur der Erdoberfläche (+13,8°C).
- Er/sie stellt den Meeresspiegel auf +20 cm ein (der aktuelle Stand im Vergleich zum vorindustriellen Meeresspiegel).
- Die fünf Wissenschaftler:innen lesen nacheinander die Anweisungen für Runde 2 laut vor und ändern gemeinsam die verschiedenen Umgebungen (Elemente/Flüsse hinzufügen, andere entfernen usw.) und beantworten die Fragen.
- Auch hier achtet der/die Spielleiter:in darauf, dass die Wissenschaftler:innen jeden Spielabschnitt genau einhalten.

RUNDE 3: DIE WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN DEN UMGEBUNGEN VERSTEHEN für fortgeschrittene Schüler:innen

- In Runde 3 ist das Klima der Erde aufgrund der im Jahr 2100 erreichten Erderwärmung „gestört“.
- Der/die Spielleiter:in stellt das Thermometer auf +15,3°C (bei den derzeitigen Klimaschutzmaßnahmen wird die Erderwärmung im Jahr 2100 voraussichtlich um +2,7°C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit ansteigen).
- Die Wissenschaftler:innen lesen nacheinander „ihre“ Karten laut vor und befolgen die Anweisungen. Meistens müssen sie die Umgebungen durch Rückkopplungspfeile miteinander verbinden. Bei den Pfeilen müssen sie auf die richtige Farbe achten – sie muss dem Grad des wissenschaftlichen Konsenses entsprechen (helle Farbe für mittleren Konsens und dunkle Farbe für starken Konsens).
- Am Ende des Zuges erklärt der/die Wissenschaftler:in die hinzugefügten Rückkopplungen.
- Die Pfeile werden für jede Runde erneut verwendet.



RUNDE 1: EIN MODELL KONSTRUIEREN (ungestörtes Klima)

RUNDE 2: MIT DEM MODELL EIN EXPERIMENT DURCHFÜHREN (gestörtes Klima: Klimawandel)

RUNDE 3: DIE WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN DEN UMGEBUNGEN VERSTEHEN (gestörtes Klima, unter Berücksichtigung von Klima-Rückkopplungen, die den Klimawandel verstärken oder begrenzen)

1 SVANTE ARRHENIUS

PHYSIKER UND CHEMIKER – FORSCHUNGSGEBIET: DIE ERDATMOSPHÄRE

RUNDE 1

Ein Element hinzufügen: eine kleine Menge Treibhausgase.

Zwei Flüsse hinzufügen: IR-Strahlung von der Erdoberfläche in die Atmosphäre sowie IR-Strahlung von der Atmosphäre in den Weltraum.

Diskussion zwischen den fünf Wissenschaftler:innen: Wie hoch wäre die Oberflächentemperatur der Erde ohne den Treibhauseffekt?

Antwort: Ohne Treibhauseffekt wird weniger IR-Strahlung zur Erdoberfläche zurückreflektiert (= mehr IR-Strahlung entweicht direkt ins Weltall). Die Temperatur an der Erdoberfläche wäre daher niedriger (-18°C).

RUNDE 2

Ein Element verändern: Die geringe Menge an Treibhausgasen wird durch eine große Menge an Treibhausgasen ersetzt.

Einen Fluss verändern: Für die in den Weltraum entweichende IR-Strahlung wird ein großer Fluss durch einen kleinen Fluss ersetzt (die größere Menge an Treibhausgasen fängt mehr IR-Strahlung ein).

RUNDE 3

Beispiel für eine positive Rückkopplung: Die Wasserverdunstung nimmt zu → mehr Wasserdampf (Treibhausgas) in der Atmosphäre → Verstärkung des Treibhauseffekts → Erderwärmung. Lege auf das Spielbrett einen Pfeil „Verstärkung des Klimawandels“, der von „Umgebung 2“ zu „Umgebung 1“ zeigt.

Beispiel für eine negative Rückkopplung: Die sogenannte „Planck-Rückkopplung“ ist sehr wirkungsvoll und ist unter Klimaforscher:innen unwidersprochen. Da es sich hier um eine Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre und dem Weltraum handelt, und der Weltraum auf dem Spielbrett nicht dargestellt ist, können keine Rückkopplungspfeile gelegt werden.

2 EMMA HAZIZA

HYDROGEOLOGIN – FORSCHUNGSGEBIET: KÜSTENGEBIETE

RUNDE 1

Vier Elemente hinzufügen: Wasserdampf, Wind, Wolke und Regenwolke.

Zwei Flüsse hinzufügen: Verdunstung und Evapotranspiration.

Diskussion zwischen den fünf Wissenschaftler:innen: Wo auf der Erde treten diese Ereignisse am häufigsten auf?

Antwort: In den Tropen (mehr Verdunstung und mehr Evapotranspiration).

RUNDE 2

Ein Element verändern: Die Regenwolke wird durch eine große Regenwolke ersetzt.

Einen Fluss hinzufügen: Verdunstung.

RUNDE 3

Beispiel für eine positive Rückkopplung: Die Photosynthese-Aktivität in der Sahelzone verändert sich. Lege auf das Spielbrett einen Pfeil „Begrenzung des Klimawandels“, der von „Umgebung 4“ zu „Umgebung 1“ zeigt.

Beispiel für eine negative Rückkopplung: Wegen der Intensivierung des Wasserkreislaufs entstehen mehr Wolken. Lege auf das Spielbrett einen Pfeil „Verstärkung des Klimawandels“, der von „Umgebung 2“ zu „Umgebung 1“ zeigt.

ARBEITSBLATT 3.5 LÖSUNG – SEITE 2/3



3 MARIE THARP

GEOLOGIN UND OZEANOGRAFIN – FORSCHUNGSGEBIET: MEEREIS

RUNDE 1

Ein Element hinzufügen: Meereis.

Zwei Flüsse hinzufügen: Ankommen-de und reflektierte Sonnenstrahlung.

Diskussion zwischen den fünf Wissenschaftler:innen: Was würde passieren, wenn es kein arktisches Meereis gäbe? Wäre die Temperatur der Erde dann höher oder niedriger als jetzt?

Antwort: Ohne Meereis würde der Ozean mehr Sonnenstrahlung absor-bieren und die Oberflächentemperatur der Erde würde steigen.

RUNDE 2

Ein Element entfernen: Meereis.

Einen Fluss entfernen: Reflektierte Sonnenstrahlung.

RUNDE 3

Beispiel für eine positive Rück-kopplung: Das Meereis schmilzt → die Albedo nimmt ab → der Ozean wird wärmer → es schmilzt noch mehr Meereis → die Oberflächentemperatur der Erde steigt. Lege auf das Spiel-brett einen Pfeil „Verstärkung des Klimawandels“, der von „Umgebung 3“ zu „Umgebung 1“ zeigt.

Beispiel für eine negative Rück-kopplung: Die Summe aller Klima-Rückkopplungen ist negativ. Die Tem-peratur der Erdoberfläche steigt nicht unkontrolliert an. Für diese globale Rück-kopplung ist die Verknüpfung zweier Umgebungen nicht sinnvoll.

4 AGNES ARBER

BOTANIKERIN – FORSCHUNGSGEBIET: WÄLDER

RUNDE 1

Zwei Elemente hinzufügen: CO₂ in der Atmosphäre, viel CO₂ wird in Pflanzen gespeichert.

Zwei Flüsse hinzufügen: Starke Photosynthese-Aktivität, starke At-mungsaktivität.

Diskussion zwischen den fünf Wissen-schaftler:innen: Was trägt zum Baum-sternen und damit zur Freisetzung von Kohlenstoffdioxid bei?

Antwort: Alles, was das Pflanzen-wachstum einschränkt (Dürren, Pflan-zenschädlinge) oder Wälder zerstört (Brände, Abholzung), erhöht die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre.

RUNDE 2

Ein Element verändern: Es wird nur eine kleine Menge CO₂ in den Pflanzen gespeichert.

Zwei Flüsse verändern: Starke Photo-synthese-Aktivität durch schwache Photo-synthese-Aktivität ersetzen, und starke Atmungsaktivität durch schwache At-mungsaktivität ersetzen.

RUNDE 3

Beispiel für eine positive Rück-kopplung: In Russland und Kanada nimmt die Vegetationsdecke zu. Die zusätzliche Vegetation nimmt mehr CO₂ aus der Atmosphäre auf. Lege auf das Spielbrett einen Pfeil „Begrenzung des Klimawandels“, der von „Umgebung 4“ zu „Umgebung 1“ zeigt.

Beispiel für eine negative Rück-kopplung: Weniger Phytoplankton im Ozean → weniger Photosynthese-Aktivität → der Ozean nimmt weniger CO₂ aus der Atmosphäre auf → die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre steigt → die Erde erwärmt sich. Lege auf das Spielbrett einen Pfeil „Ver-stärkung des Klimawandels“, der von „Umgebung 3 oder 2“ zu „Umgebung 1“ zeigt (Ozean zu Atmosphäre).

5 LOUIS AGASSIZ

BOIOLOGE UND GEOLOGE – FORSCHUNGSGEBIET: EISSCHILDE

RUNDE 1

Zwei Elemente hinzufügen: Eisschilde und Schnee.

Diskussion zwischen den fünf Wissen-schaftler:innen: Nenne andere Orte auf der Erde (außer der Antarktis), wo Kontinentaleis vorkommt.

Antwort: Grönland und die Antarktis sind die beiden großen **Eisschilde** der Erde. Kontinentaleis findet sich auch in Gebirgsgletschern.

RUNDE 2

Ein Element entfernen: Eisschild.

Zwei Elemente hinzufügen: hoher Meeresspiegel und Meeresspiegelan-stieg um bis zu 70 cm bis 2100.

RUNDE 3

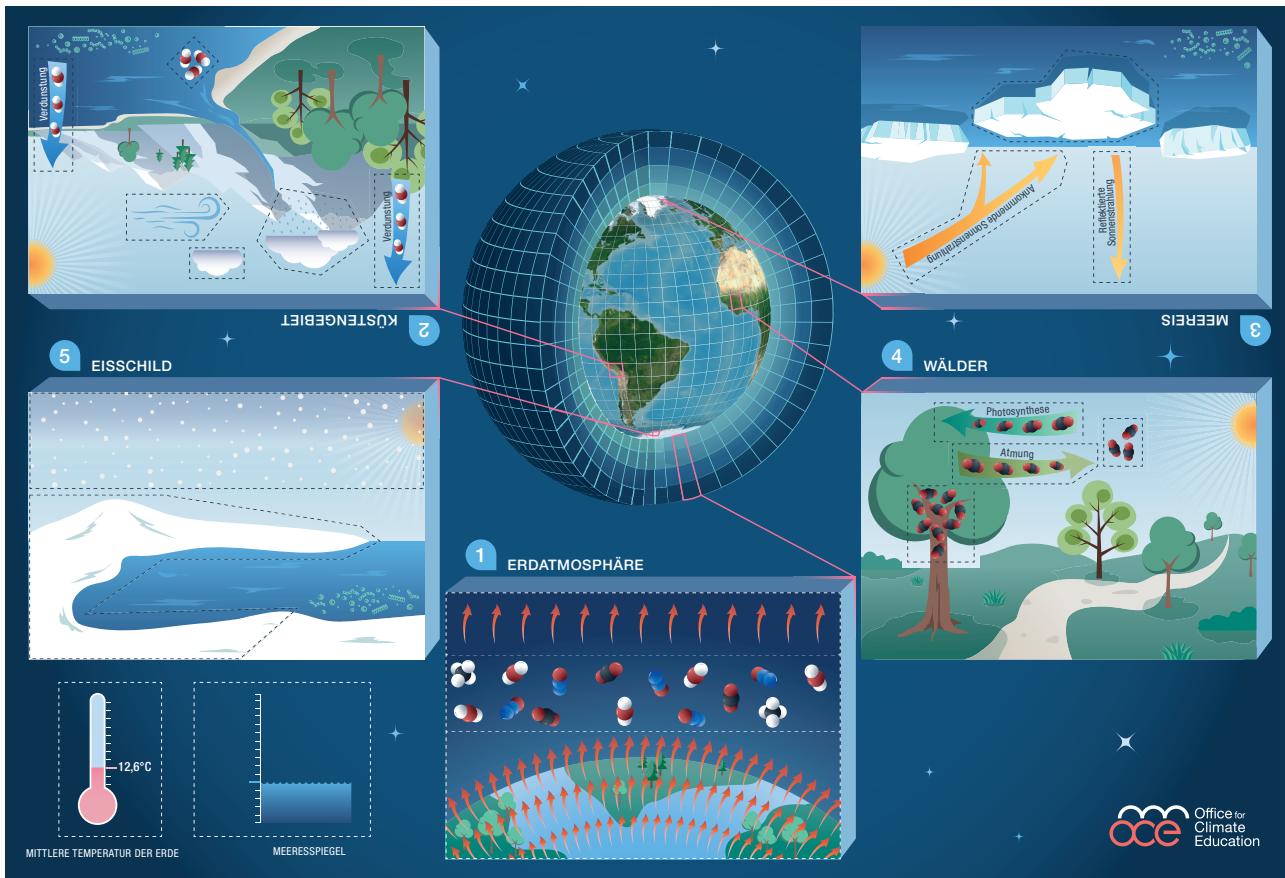
Beispiel für eine positive Rückkopp-lung: Das Kontinentaleis schmilzt → der Meeresspiegel steigt. Lege auf das Spielbrett einen Pfeil „Verstärkung des Klimawandels“, der von „Umgebung 5“ zu „Umgebung 3 oder 2“ zeigt.

Beispiel für eine negative Rückkopp-lung: Megabrände → Rauchpartikel schirmen die einfallende Sonnenstrah-lung ab. Lege auf das Spielbrett einen Pfeil „Begrenzung des Klimawandels“, der von der Atmosphäre zum Land zeigt.

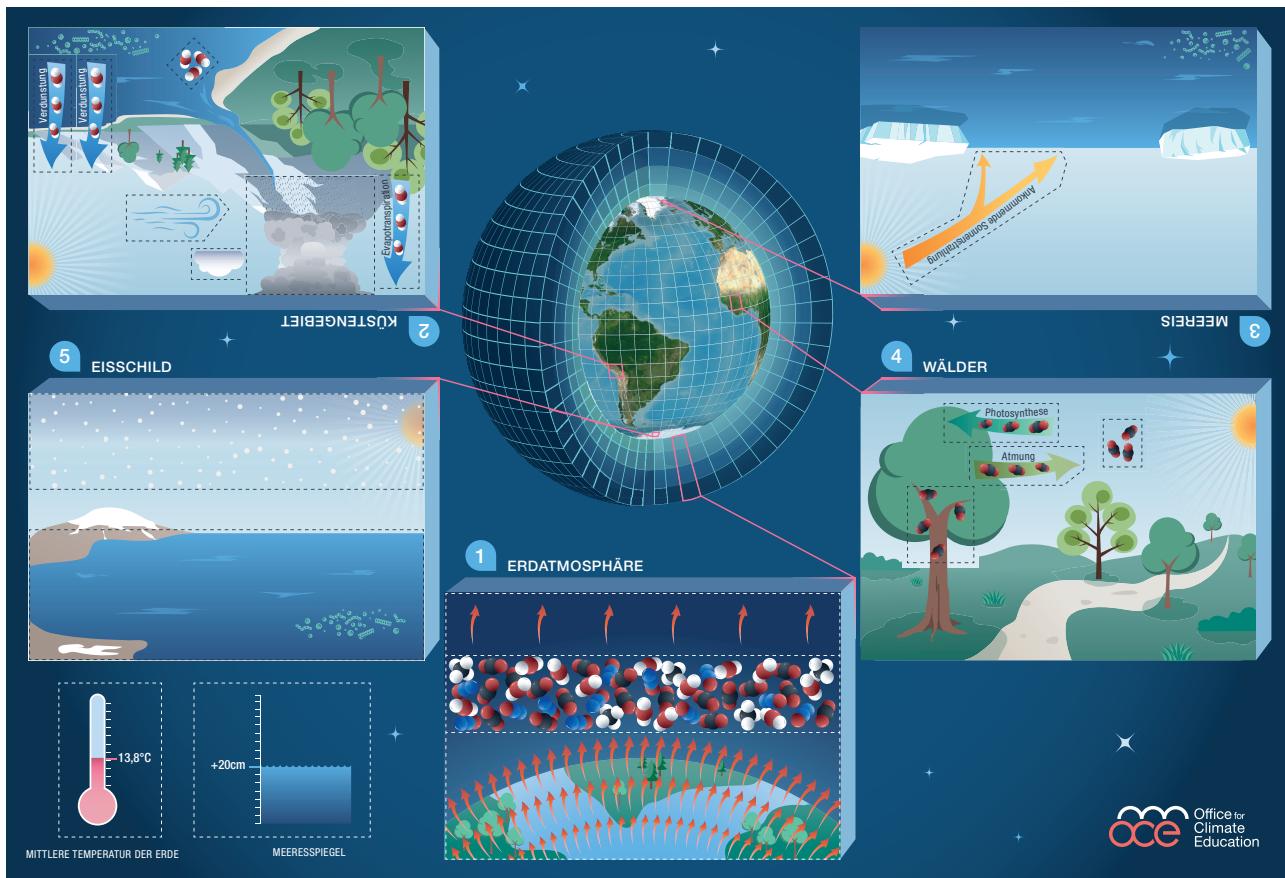
ARBEITSBLATT 3.5 LÖSUNG – SEITE 3/3



LÖSUNG: RUNDE 1



LÖSUNG: RUNDE 2



UNTERRICHTSEINHEIT B – KLIMAMODELLIERUNG

UNTERRICHTSSTUNDE 4 MODELLE, UM DIE REALITÄT DARZUSTELLEN

HAUPTFÄCHER	DAUER	ALTER	UNTERRICHTSMETHODEN
Physik Mathematik Informatik	Vorbereitung: 10 Minuten Durchführung: 1 Stunde (Fortgeschrittene) 1 Stunde 30 Minuten (Expert:innen)	> 15 Jahre	Dokumentenanalyse Multimedia-Animation
LERNZIELE Die Schüler:innen verstehen, dass Modelle vereinfachte Darstellungen der Realität sind. Sie sind Werkzeuge, um das Klima zu verstehen und vorherzusagen. Modelle zu verwenden hat viele Vorteile, aber auch seine Grenzen. Modelle können nicht die gesamte Komplexität der Realität wiedergeben. Anhand eines physikalischen Modells (einer Nachbildung oder Analogie) verstehen die Schüler:innen die Unterschiede zwischen der realen/physikalischen Welt und der digitalen Welt.			NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ Bereich 3 – Visionen für eine nachhaltige Zukunft Kompetenz 3.3 – Forschungsorientiertes Denken
SCHLÜSSELBEGRIFFE Modell, Input, Output, Stichprobe (Sampling)			

VORBEREITUNG 10 MINUTEN

- 2 Thermometer, 2 Lampen (oder die Sonne), 1 Glasbehälter.
- [NUR FÜR EXPERT:INNEN]: Computer, auf denen die Datei `greenhouse.ipynb` gespeichert ist und das **ARBEITSBLATT 4.1** (eins pro Schülerpaar).



EINLEITUNG 20 MINUTEN

Zeigen Sie Bilder (oder Modelle) von Gegenständen: zum Beispiel ein Dinosaurier aus Plastik, ein Schema des Wasserkreislaufs, ein Wetterbericht, ein GPS-Gerät. *Was haben diese Gegenstände gemeinsam?* Führen Sie das Wort „Modell“ ein.

→ TIPP FÜR LEHRENDE

Die GPS-Navigation verwendet ein heuristisches Modell. Es berechnet einen guten Weg, um von Punkt A nach Punkt B zu gelangen, aber nicht unbedingt den besten Weg.

Was ist ein Modell? Wann werden Modelle verwendet?

MODELLE ERLEICHTERN DIE BEOBSAHTUNG

- ~ Modell eines Lebewesens (z. B. eines Dinosauriers, einer Blume, usw.)
- ~ Maßstabsgetreues Modell (Sonnensystem, tektonische Platten)
- ~ Zusammenstellung von Informationen in einem Diagramm (Flussdiagramm, Grafik, Tortendiagramm)
- ~ Modellorganismus (Versuchstier) für andere Lebewesen (*Drosophila* in der Biologie, Schwein in der Chirurgie)
- ~ Statistische Analyse (Umfrage, Wahrscheinlichkeiten)

KLAR UND DEUTLICH PRÄSENTIEREN

- ~ Ontologie (das semantische Web)
- ~ Datenmodell (die XML-Nomenklatur)
- ~ Theoretisches Modell (Mendels Vererbungsgesetze)
- ~ Gedankenexperiment (Modell eines Begriffs) (das Zwillingsparadoxon von Einstein)
- ~ Schematische Darstellung (der Wasserkreislauf)

DIE THEORIE ANWENDEN, UM VORHERSAGEN ZU TREFFEN

- ~ Mathematisches Modell (Bevölkerungswachstum nach Malthus, rationales Verhalten von Verbraucher:innen)
- ~ Heuristisches Modell (GPS)
- ~ Computermodell (Wettervorhersage, Flugsimulator, neuronales Netz)



Modellhafte Rekonstruktion der Gefiederfarbe des Dinosauriers *Oviraptoridae caudipteryx*.

Gemeinsam erarbeitet die Klasse eine **Definition des Begriffs „Modell“: eine vereinfachte Darstellung der Realität, die zum Verständnis komplexer Probleme herangezogen werden kann.** Kann ein Brettspiel ein Modell sein?

Bei der Nachbesprechung der Unterrichtsstunde 3 haben die Schüler:innen festgestellt, dass die Analogien im Brettspiel ein Modell darstellen. Die Bestandteile lassen sich in drei Kategorien einteilen:

INPUTS

- ~ IR-Strahlung, Albedo, Temperatur, Sonnenstrahlung, Treibhausgaskonzentration, Verdunstung, Wind, Atmung, Photosynthese, Wasser (Atmosphäre, Meereis und Kontinentaleis, Regen/Schneefall), CO₂ (Biosphäre, Atmosphäre, Lithosphäre).
- ~ Optional: Permafrost, Wolken, Waldbrände, thermische Ausdehnung der Ozeane

OUTPUTS

- ~ Ausgesandte IR-Strahlung, Temperatur, Regen/Schneefall, Verdunstungsrate, Meeresspiegelanstieg
- ~ Aktualisierung aller Werte, die in das Modell einfließen

STICHPROBE (SAMPLING)

- ~ 5 „Zellen“ (Atmosphäre, Antarktis, Arktis, Wälder, Hydrosphäre)

Die Stichprobenkategorie kann zu einer weiteren Diskussion über die Grenzen und Beschränkungen von Modellen führen. Natürlich kann dieses Modell nicht für die Wettervorhersage oder gar für regionale Klimaprojektionen verwendet werden. Beispielsweise kann die Zelle „Wälder“ entweder den Amazonas-Regenwald oder einen Wald in Sibirien repräsentieren: Ersterer wird sich zu einer halbtrockenen Savanne entwickeln und letzterer zu einer lebenswerten Kornkammer.

DURCHFÜHRUNG 30 MINUTEN (FORTGESCHRITTENE) BIS 1 STUNDE (EXPERT:INNEN)

Kann ein physikalisches Experiment ein Modell sein? Die Schüler:innen führen ein Experiment zum Treibhauseffekt durch: Sie vergleichen die Temperatur innerhalb und außerhalb eines Gewächshauses (siehe die Unterrichtsstunde B1 im Lehrerhandbuch „Ozean & Kryosphäre“).



In der Unterrichtsstunde 2 haben die Schüler:innen gelernt, dass der im Experiment beobachtete Temperaturanstieg nicht auf den Treibhauseffekt zurückzuführen ist. Die Temperatur steigt, weil die wärmere Luft im Gewächshaus eingeschlossen ist. Man kann zum Beispiel den Glasbehälter durch einen Kunststoffbehälter, oder die Luft durch reines CO₂ ersetzen. In allen Fällen steigt die Temperatur, allerdings nicht aufgrund des Treibhauseffektes. Die Schüler:innen können mit dem Experiment aber den Gedankengang

von Svante Arrhenius nachvollziehen, der den Begriff „Treibhauseffekt“ prägte – wegen der Analogie zu den Vorgängen in einem Gewächshaus/Treibhaus.

Trotz seiner Einschränkungen basiert dieses Experiment auf der Verwendung eines Modells:

INPUTS

- ~ Material des Behälters
- ~ Zusammensetzung der Luft

OUTPUTS

- ~ Temperatur

SAMPLING

- ~ 2 Zellen (1 Kontrollzelle, 1 Testzelle)

ZUSATZAKTIVITÄT (FÜR EXPERT:INNEN) 30 MINUTEN

Die Lehrkraft teilt das **ARBEITSBLATT 4.1** aus. Die Schüler:innen führen eine einfache Programmieraufgabe durch: Sie verwenden und modifizieren ein Python/Jupyter-Modell des Treibhauseffekts. Halten Sie bei Bedarf das **ARBEITSBLATT 2.5** bereit.

Die Schüler:innen beantworten die Fragen im Python-Dokument:

1. Warum sind die Variablen ASR_obs und OLR_obs fast gleich groß? Ein Gleichgewicht ist erreicht, wenn ankommende Sonnenstrahlung und gesamte ausgehende Strahlung (sichtbares Licht plus IR-Strahlung) gleich groß sind (siehe **ARBEITSBLATT 2.5**). In der nächsten Abbildung (siehe **ARBEITSBLATT 4.1**) beträgt die eingehende Sonnenstrahlung 340 W/m² und die ausgehende Strahlung OLR_obs (Infrarot- oder langwellige Strahlung) (100+240) W/m².

2. Vergleiche in beiden Fällen, wie die Strahlung durchgelassen wird (Transmissivität): Die Schüler:innen müssen tau1 = 0,61 beibehalten (entspricht dem beobachteten Treibhauseffekt), können aber für tau2 einen anderen Wert wählen, der kleiner ist als 0,61. Je kleiner tau2 ist, desto stärker steigt die Temperatur an und desto länger dauert es, bis das Gleichgewicht erreicht ist.

Die Schüler:innen sollten die Komponenten des Modells beschreiben. Die Variable tau2 stellt die Effizienz des Treibhauseffekts dar (ein kleiner Wert = ein starker Treibhauseffekt). Jede Variable steht für einen Parameter, eine Wechselwirkung oder eine physikalische Größe. Zwei physikalische Gesetze (aus der Unterrichtsstunde 2) wurden vereinfacht in das Modell integriert:

$$T_{\text{Erdoberfläche}} = f(S_{\text{Sonnen}}, S_{\text{reflektiert}}, S_{\text{IR}}, \dots)$$

$$S_{\text{IR}} = f(T_{\text{Erdoberfläche}}, T_{\text{Luft}}, m_{\text{CO}_2}, m_{\text{H}_2\text{O}}, m_{\text{CH}_4}, \dots)$$

Dieses digitale/mathematische Modell kann als **Vorhersageinstrument** verwendet werden (wenn τ_{au2} gegeben ist, kann man den Wert der Oberflächentemperatur der Erde vorhersagen).

ZUSAMMENFASSUNG 10 MINUTEN

Die Klasse kann nun die verschiedenen Modelle vergleichen. Die Schüler:innen können z. B. die folgende Tabelle verwenden (oder eine ähnliche), um zu analysieren, wie fein/grob die Realität dargestellt wird (z. B. für die Sonne: in einem Fall wird eine Lampe verwendet, im anderen Fall der Wert für die einfallende Sonnenstrahlung).

In allen Fällen stellen die Schüler:innen fest, dass mit Modellen die reale Welt abgebildet werden kann – entweder zu pädagogischen Zwecken (z. B. Dinosauriermodell) oder zur Analyse und Vorhersage (z. B. Wettervorhersage).

Das Beispiel des „Treibhauseffekt-Experiments“ dient als Warnung: Ein Modell sollte nie überinterpretiert werden, damit die Schlussfolgerungen nicht völlig daneben liegen. In der nächsten Unterrichtsstunde erfahren die Schüler:innen mehr über numerische Modelle.



Ein analoges Modell: das Treibhauseffekt-Experiment.

WAS WIRD MODELLIERT?	BRETTSPIEL (ANALOGES MODELL)	TREIBHAUSEFFEKT-EXPERIMENT (ANALOGES MODELL)	PROGRAMMIERUNG DES STRAHLUNGS-GLEICHGEWICHTS (DIGITALES MODELL)
Sonnenstrahlung	Pfeile	Lampe	Fester mittlerer Jahreswert: 1360 W/m^2
Treibhausgase	CO_2 -Flüsse	Glasbehälter	Variable Durchlässigkeit der Atmosphäre (τ_{au2})
Merkmale	5 Zellen	1 Test, 1 Kontrolle	Konstanter Radius der Erdatmosphäre (Annahme der sphärischen Isotropie)
usw.

ARBEITSBLATT 4.1



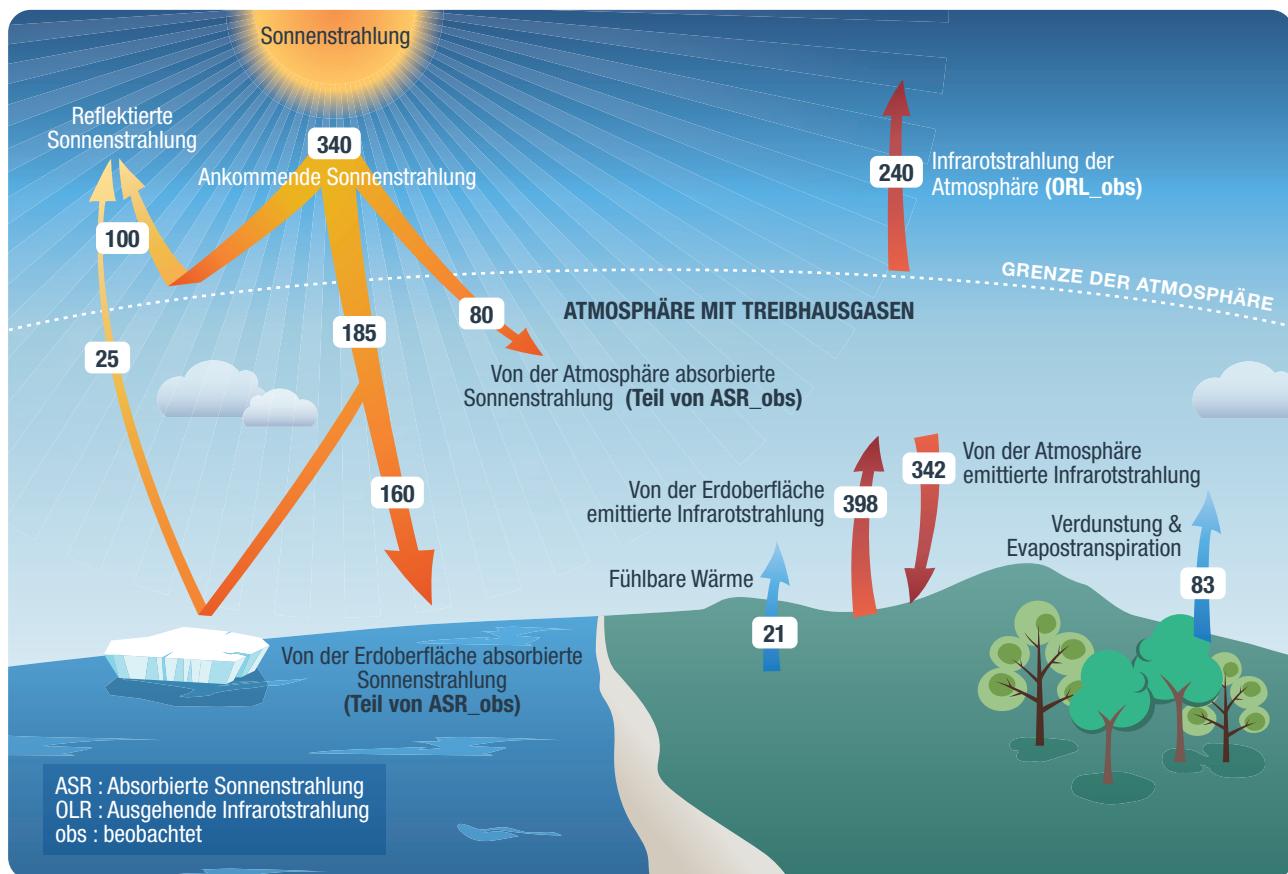
PYTHON UND JUPYTER-NOTEBOOK VERWENDEN

Öffne das *Jupyter Notebook* in deinem Webbrowser: <https://jupyter.org> > try > *Jupyter Notebook*.
(Direkter Link: <https://jupyter.org/try-jupyter/notebooks/?path=notebooks/Intro.ipynb>)

Jupyter Notebook kann zwei Arten von „Zellen“ verwalten: Blöcke mit *Markdown*-Text, die wie in einem normalen Texteditor formatiert werden können, und Blöcke mit Code, die Python-Zeilen interpretieren. Auf der ersten Seite siehst du eine *Markdown*-Zelle mit dem Titel „Introduction to the JupyterLab and Jupyter Notebooks“, eine Code-Zelle mit dem Index „[1]“, in der die Python-Syntax hervorgehoben ist, dann eine Zelle mit einer Grafik, die von der davorstehenden Code-Zelle generiert wird, und schließlich eine zweite *Markdown*-Zelle, die nächste Schritte vorschlägt.

Wenn du die verschiedenen Zellen anklickst, zeigt das Dropdown-Menü oben auf der Seite den Zelltyp an (Markdown, Code, Raw). Wenn du eine *Code*-Zelle auswählst, kannst du über den Button *Run* im oberen Menü den Code ausführen: Damit wird der Python-Code von der ersten bis zur aktuell ausgewählten Zelle kompiliert und ausgeführt.

Um das *Jupyter Notebook* zu laden, klicke auf das „Jupyterlite“-Logo. Daraufhin öffnet sich die Seite <https://jupyter.org/try-jupyter/tree/>, auf der alle verfügbaren Dateien aufgelistet sind. Suche die Datei „[greenhouse.ipynb](#)“. Wenn du sie nicht findest, kannst du sie manuell von einem beliebigen Speicherort auf deine Festplatte hochladen. Mit einem Doppelklick auf den Dateinamen, öffnest du die Datei. Schau dir nun das *Notebook* an, untersuche den Code und beantworte die Fragen. Die folgende Abbildung kann dir dabei helfen.



Schematische Darstellung der mittleren Strahlungsbilanz der Erde. Die Zahlen sind Schätzungen der Größenordnungen der einzelnen Strahlungskomponenten in W/m², die den Klimabedingungen zu Beginn des 21. Jahrhunderts entsprechen.

Quellen: IPCC AR6 WG1 (2021), Kapitel 7, Abbildung 7.2 (S. 934) und Météo-France. Angepasst nach einer Abbildung auf Seite 19 (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat-2023/pdf/chiffres-cles-du-climat-2023.pdf>).

UNTERRICHTSSTUNDE 5 KLIMAMODELLE WERDEN GENAUER

HAUPTFÄCHER
Physik
Geschichte
Mathematik
Informatik

DAUER
Vorbereitung: 15 Minuten
Durchführung: 2 Stunden

ALTER
> 15 Jahre

UNTERRICHTSMETHODE
Dokumentenanalyse

LERNZIELE

Die Schüler:innen lernen, dass sich Klimamodelle im Laufe der Zeit dank technischer Verbesserungen und der Integration neuer klimatischer Elemente weiterentwickeln, was zu immer genaueren Modellen führt.

NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ

Bereich 2 – Komplexität der Nachhaltigkeit
Kompetenz 2.3 – Problemformulierung

**SCHLÜSSELBEGRIFFE**

Klimamodelle, Wettervorhersage, Klimaprojektionen

VORBEREITUNG 15 MINUTEN

- Drucken Sie das **ARBEITSBLATT 5.1** aus (ein Exemplar pro Schüler:in).
- Computer oder Tablets für Gruppen von 4 bis 6 Schüler:innen.
- Videos : „Entwicklung von Videospiele“



Sie können entweder ein Bildschirmfoto oder **ARBEITSBLATT 5.1** verwenden.

„Was ist ein Klimamodell?“

CLIM-Video von Roland Séférian, Klimatologe am CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques), Météo-France, CNRS, Frankreich.

**„Können wir Klimaprojektionen vertrauen?“**

CLIM-Video von Birgit Hassler, Wissenschaftlerin am DLR Oberpfaffenhofen, Deutschland.



TIPP FÜR LEHRENDE

Diese Aktivität basiert auf einem Vergleich zwischen Computerspielen, die ein Fußballspiel simulieren, und Klimamodellen, die das Klima simulieren. Sie können diese Aktivität mit einer Fußballübertragung einleiten.

EINLEITUNG 15 MINUTEN

Beginnen Sie mit einer Diskussion über Videospiele und Computer im Allgemeinen. *Wann wurden Videospiele erfunden und wie haben sie sich entwickelt?*

In gewisser Weise ähnelt ein Klimamodell einem Videospiel. In der folgenden Aktivität werden wir Videospiele (Fußball) und Klimamodelle vergleichen, indem wir Videospiele (Videos und Bilder) unter die Lupe nehmen.

DURCHFÜHRUNG 1 STUNDE 30 MINUTEN

Teilen Sie die Schüler:innen in Vierer- bis Sechsergruppen auf.

TEIL 1 : VIDEO SPIELE ALS MODELLE DER REALEN WELT
45 MINUTEN

Schauen Sie mit der Klasse das Video „Entwicklung von Videospiele“ an und diskutieren Sie darüber. Dieses Video kann als Modell eines Fußballspiels betrachtet werden, das durch den Computer (Hardware und Software) geschaffen wird.

- Wie lautet noch einmal die Definition eines **Modells**?
- Ist dieses Videospiel eine gute Nachbildung eines **Fußballspiels**?
 - ~ Nennt Aspekte, die einem realen Fußballspiel ähneln.
 - ~ Listet auf, was im Vergleich zu einem realen Fußballspiel fehlt.
 - ~ Meint ihr, dass dieses Modell dem Spieler des Videospiels ein angenehmes virtuelles Fußballerlebnis bietet?
- Würdet ihr sagen, dass ein virtuelles Fußballspiel dazu beiträgt, die fußballtechnischen Fähigkeiten im wirklichen Leben zu verbessern? Warum?

Die Schüler:innen schauen sich das Video erneut an und konzentrieren sich dabei auf die Entwicklung von Videospiele. Diskussion in den Gruppen:

- Beschreibt die Entwicklung von Fußballvideospielen. Zählt alle Veränderungen auf.
- Vergleicht das älteste und das neueste Videospiel: Welches würdet ihr lieber spielen, und warum?
- Warum sind ältere Videospiele weniger realistisch als neuere?

Verwenden Sie nun das **ARBEITSBLATT 5.1**. Stellen Sie den Schüler:innen die gleichen Fragen wie zuvor, und zusätzlich die folgenden:

- Was sind die Bestandteile eines Klimamodells?
- Wie gelingt es den Modellierer:innen, die verschiedenen Elemente des Klimasystems darzustellen?
- Wie haben sich Klimamodelle im Laufe der Zeit verändert? Nennt zwei Arten von Veränderungen.
- Wie beziehen die Wissenschaftler:innen menschliche Aktivitäten in ihre Modelle ein?

Klassendiskussion und Zwischenfazit:

Diskutieren Sie in der Klasse die Antworten der einzelnen Gruppen. Videospiele sind Modelle, die **die reale Welt in einer virtuellen Umgebung darstellen**. Spieleentwickler:innen bauen Elemente des realen Fußballspiels in die Software ein, um ein „gutes“ Modell eines Fußballspiels zu erreichen. „Gut“ bedeutet, dass das Modell die Realität adäquat wiedergibt, und im Falle von Videospiele, dass der/die Spieler:in ein unterhaltsames Spielerlebnis hat.

In den letzten Jahrzehnten haben sich Videospiele parallel zur Computertechnologie weiterentwickelt. Es werden mehr Details (z. B. Zuschauer, Kommentatoren) integriert, die die Realität besser simulieren. Moderne Spiele sind zwar realistischer und angenehmer zu spielen, werden aber nie ein echtes Fußballspiel ersetzen können.

TEIL 2 : KLIMAMODELLE 45 MINUTEN

Teilen Sie jede Gruppe in zwei Untergruppen von 2-3 Schüler:innen auf. Jede Untergruppe sieht sich eines der beiden CLIM-Videos an und denkt sich vier Fragen für ein Quiz über den Inhalt des Videos aus. Dann wird getauscht und die Schüler:innen schauen sich das andere Video an und beantworten die Quizfragen.

Vorschläge für ein Quiz zum Video „Was ist ein Klimamodell?“:

1. Was sind die Bestandteile eines Klimamodells?
2. Was verbirgt sich hinter all diesen Computercodezeilen?
3. Wie stellen die Modellierer:innen die verschiedenen Elemente des Klimasystems dar?
4. Wie haben sich die Klimamodelle im Laufe der Zeit entwickelt? Nennt zwei Arten von Veränderungen.

Vorschläge für ein Quiz zum Video „Können wir Klimamodellen trauen?“:

5. Was sind die Unterschiede zwischen Wettervorhersagen im Fernsehen und Klimaprojektionen?
6. Wie kann man die Genauigkeit eines Modells bestimmen?
7. Nennt ein Beispiel für eine Unsicherheit, die nur schwer in einem Klimamodell berücksichtigt werden kann?
8. Wie berücksichtigen Wissenschaftler:innen in den Modellen menschliche Aktivitäten?

Klassendiskussion und Zwischenfazit:

Bitten Sie die Gruppen, ihre Antworten mit der ganzen Klasse zu diskutieren. Beginnen Sie dann eine neue Diskussion: *Inwieweit kann man behaupten, dass ein Spiel und ein Klimamodell ähnlich sind?*

Um ein Klimamodell zu konstruieren und das Klima der Erde zu reproduzieren, beziehen Wissenschaftler:innen die Bestandteile des Erdsystems in ihr Computerprogramm ein.

Was sind die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Entwicklung von Klimamodellen und Videospiele?

Beide haben sich im Laufe der Zeit weiterentwickelt: Es werden mehr Elemente hinzugefügt, um die reale Welt so präzise wie möglich abzubilden. Technische Verbesserungen haben dazu beigetragen, sowohl die Auflösung als auch die Genauigkeit der Modelle zu verbessern.

Was ist ein „gutes“ Modell?

Klimamodelle dienen der Vorhersage möglicher zukünftiger Klimaszenarien: Sie erstellen Klimaprojektionen. Das ist bei einem Videospiel nicht der Fall. Für Wissenschaftler:innen ist ein Modell dann „gut“, wenn die Realität angemessen wiedergegeben wird. Klimamodelle sind nicht dazu gedacht, genaue Wettervorhersagen zu machen, sie können aber langfristige Klimatrends wiedergeben. Wie gut sie das tun, bestimmt, in welchem Maße man einem numerischen Modell trauen kann (wie es Birgit Hassler im Video erklärt). Weitere Bewertungskriterien sind eine gute Reproduktion der Variabilität des „gemittelten Klimas“ oder der regionalen Muster sowie ihrer Trends über einen bestimmten historischen Zeitraum.

Wo liegen für Modelle oder Videospiele die Grenzen bei der Abbildung der realen Welt?

Durch die Integration detaillierterer Informationen in das Programm wird die Genauigkeit des Modells erhöht. Das bedeutet jedoch eine höhere Rechenzeit und Rechenleistung, was wiederum höhere Kosten verursacht. Bei Videospiele kann dies auch dazu führen, dass das Spiel langsamer wird und auf alten Geräten nicht mehr spielbar ist. Die Menge an Informationen, die einbezogen werden kann, hängt auch von der verfügbaren Technologie ab (d. h. von einem Computer mit einer leistungsstarken Grafikkarte).

ZUSAMMENFASSUNG 15 MINUTEN

Klimamodelle sind Computermodelle, die (Teile) der realen Welt (z. B. das Klimasystem) simulieren, ähnlich wie Videospiele einen Teil der realen Welt (z. B. ein Fußballspiel) simulieren.

Die Ergebnisse von Klimamodellen sind Aussagen über das reale Klimasystem. Die Genauigkeit dieser Aussagen hängt jedoch von der Qualität des Modells ab. Klimamodelle sind im Laufe der Zeit immer genauer geworden und entwickeln sich mit dem wissenschaftlichen und technologischen Fortschritt weiter. Modelle sind wertvolle Hilfsmittel, die Klimatolog:innen, politischen Entscheidungsträger:innen und Bürger:innen helfen, fundierte Entscheidungen zum Klimaschutz zu treffen.

HINTERGRUNDINFORMATIONEN FÜR LEHRENDE

WIE HAT SICH UNSER VERSTÄNDNIS DES KLIMAS SEIT DER GRÜNDUNG DES IPCC VERÄNDERT?

Der erste IPCC-Bericht (herausgebracht 1990) kam zu dem Schluss, dass der durch den Menschen verursachte Klimawandel bald offensichtlich werden würde, konnte aber noch nicht bestätigen, dass er bereits stattfindet. Heute ist die Beweislage überwältigend. Mit viel mehr Daten, Datensätzen über vergangene Klimata und einem zunehmend zuverlässigen Einsatz von Klimamodellen verstehen wir besser, wie die Atmosphäre mit den Ozeanen, dem Eis, dem

Schnee, den Ökosystemen und den Landoberflächen der Erde wechselwirkt. Die Computersimulationen des Klimasystems haben sich drastisch verbessert: Es werden immer mehr natürliche Prozesse einbezogen und sehr detaillierte Prognosen für das zukünftige Klima erstellt.

WEITERE INFORMATIONEN

Der Großvater heutiger Klimamodelle:

<https://earthobservatory.nasa.gov/blogs/earthmatters/2015/05/21/see-one-of-the-first-climate-models/>

BEEINFLUSSTUNG DES KLIMAS DURCH DEN MENSCHEN

BEOBACHTUNGEN

Erderwärmung seit Ende des 19. Jahrhunderts

Temperatur der Landoberfläche

Geologische Datensätze

Satellitendaten

KLIMAMODELLE

Typische Auflösung

Natürliche Prozesse, die in die Modelle einfließen



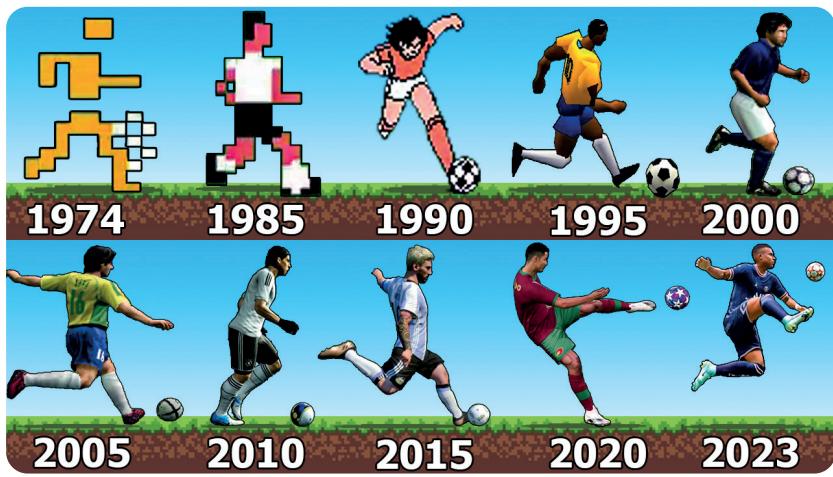
Abb. 1: Der erste IPCC-Sachstandsbericht (1990) und der sechste Sachstandsbericht (2021) im Vergleich: Erkenntnisse zum Klima, Beobachtungen und Klimamodelle. Diese Darstellung ist nicht vollständig – viele weitere Fortschritte (theoretisches Verständnis, geologische Aufzeichnungen und die Rückführung von Veränderungen auf menschlichen Einfluss) wurden der Einfachheit halber nicht berücksichtigt.

Quelle: IPCC WG1 FAQ1.1 (S. 7) (angepasst)

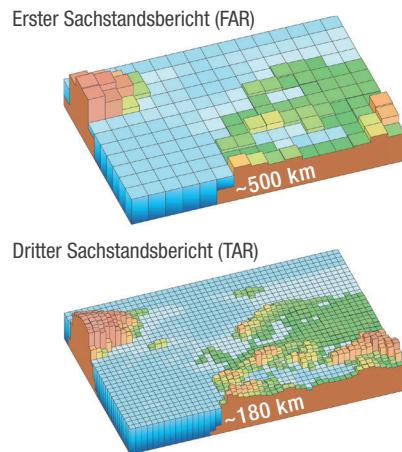


ARBEITSBLATT 5.1

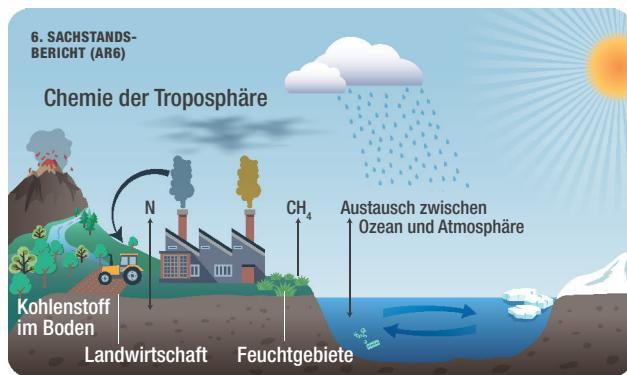
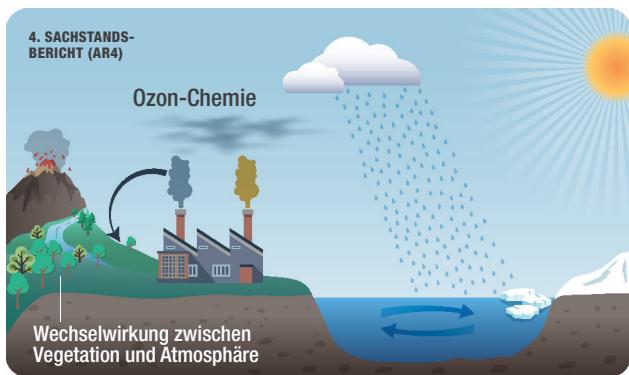
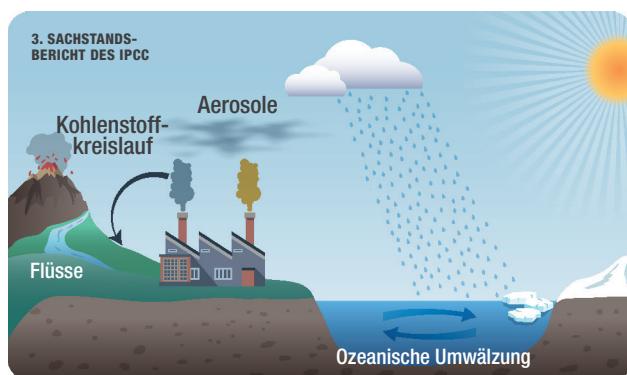
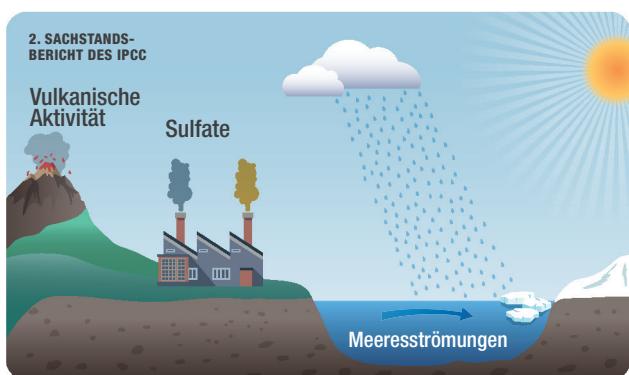
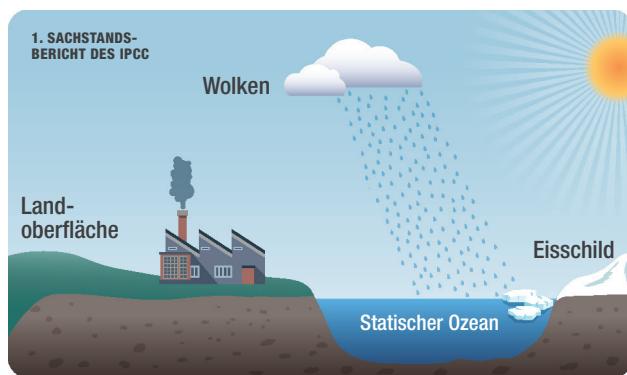
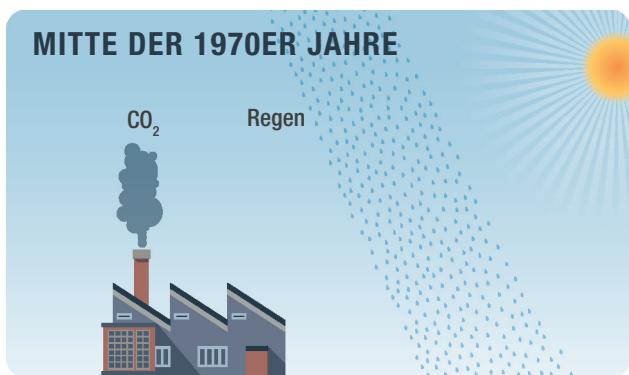
DIE ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER AVATARE IN VIDEOSPIELEN



DIE ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER AUFLÖSUNG VON KLIMAMODELLEN



DIE ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER AUFLÖSUNG UND BERÜCKSICHTIGTEN PARAMETER IN KLIMAMODELLEN



Quelle: Abbildungen 1.2 und 1.4, IPCC AR4 (2007), The Physical Science Basis, verfügbar auf der IPCC-Website (<https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>).

UNTERRICHTSSTUNDE 6 VALIDIERUNG NUMERISCHER MODELLE

HAUPTFÄCHER Physik	DAUER Vorbereitung: 30 Minuten Durchführung: 1 Stunde 30 Minuten	ALTER > 15 Jahre	UNTERRICHTSMETHODE Dokumentenanalyse Virtuelles Experiment
LERNZIELE Die Schüler:innen entdecken, wie die Zuverlässigkeit numerischer Modelle bewertet werden kann: Man schaut, wie gut das Modell gegenwärtige und vergangene Ereignisse wiedergibt bzw. wie gut es zukünftige Ereignisse vorhersagt, usw.		NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ Bereich 2 – Komplexität der Nachhaltigkeit Kompetenz 2.1 – Systemorientiertes Denken	



VORBEREITUNG 30 MINUTEN

- Laden Sie die kostenlose Lernsoftware *SimClimat* herunter. Mit *SimClimat* kann man das Klima simulieren und insbesondere die Begriffe der Rückkopplung und der Stabilität einführen. Die Software ist auf Englisch und Französisch für Windows, Mac oder Smartphones über Google Play und Apple Store erhältlich.
- Drucken Sie das **ARBEITSBLATT 6.1** aus (ein Arbeitsblatt pro Schülerpaar).
- Drucken Sie das **ARBEITSBLATT 6.2** und **6.3** aus (ein Arbeitsblatt pro Schülerpaar).

Diese Aufgabe lässt sich am besten in Zweiergruppen durchführen: Eine Person programmiert, während die andere Notizen macht, den Code auf Fehler prüft, Ideen und Ratschläge beisteuert usw. Natürlich sollten die Rollen regelmäßig getauscht werden. Die Schüler:innen entdecken, wie die Zuverlässigkeit numerischer Modelle durch die Reproduktion gegenwärtiger und vergangener Ereignisse sowie die Vorhersage zukünftiger Ereignisse usw. bewertet werden kann.

EINLEITUNG 10 MINUTEN

Wiederholen Sie kurz die Ergebnisse der vorherigen Unterrichtsstunden: die wechselseitige Abhängigkeit von physikalischen Parametern (Unterrichtsstunde 2), Rückkopplungen (Unterrichtsstunde 3) sowie Inputs, Outputs und Stichprobe (Sampling) von numerischen Modellen (Unterrichtsstunde 4).

Wie lässt sich die Vertrauenswürdigkeit (oder „Richtigkeit“) eines numerischen Modells überprüfen?

- Das Modell mit bekannten Daten testen (dies ist der Fall, mit dem wir uns beschäftigen werden).
- Jeden Teil des Modells separat testen („Durchführung von Komponententests“, auf Englisch „unit tests“).

Jedes Schülerpaar bekommt das **ARBEITSBLATT 6.1**. Die Hälfte löst zusätzlich auch die Aufgaben des **ARBEITSBLATTE 6.2 [FORTGESCHRITTENE]**, während die andere Hälfte das **ARBEITSBLATT 6.3 [EXPERT:INNEN]** löst.

DURCHFÜHRUNG 1 STUNDE

TIPP FÜR LEHRENDE

Es gibt ein Video für Lehrende zum Einsatz von *SimClimat* in der Schule. Sie können die Sprache der Untertitel einstellen.



TEIL 1: EINSTIEG IN SIMCLIMAT 10 MINUTEN

Verwenden Sie für diesen Teil das **ARBEITSBLATT 6.1**. Die Klasse folgt den Anweisungen, um ihre erste Simulation – mit Standardwerten – durchzuführen. Die Schüler:innen lernen so, wie die (sehr intuitive) Schnittstelle funktioniert:

1. Stellt die Sprache ein, klickt auf die Dokumentation und dann auf *Run Simulation*.
2. Anfangszustand der Simulation: Datum (aus einem Dropdown-Menü) und Dauer (in Jahren).
3. Sucht aus, wie die Ausgabebgrafiken aussehen sollen.
4. Am unteren Rand des Bildschirms befinden sich drei Tabs zur Änderung der Eingabeparameter:
 - ~ Tab für astronomische Parameter. Klickt z. B. auf den Abstand Erde-Sonne: Es stehen zwei Optionen zur Verfügung (es gibt eine erläuternende Abbildung, die die Definitionen von Präzession oder Exzentrizität erklärt).
 - ~ Tab für die CO₂-Emissionen.
 - ~ Tab für die Klima-Rückkopplungen.

Startet eine erste Simulation mit Standardwerten, indem ihr auf die gelbe Schaltfläche klickt.

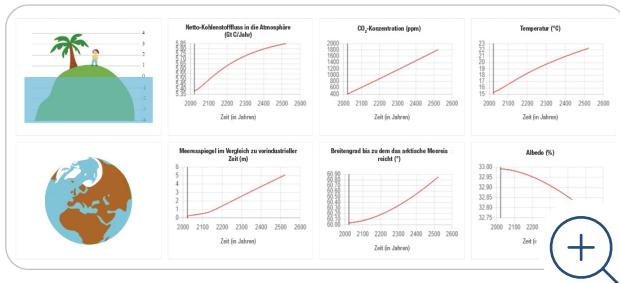
TIPP FÜR LEHRENDE

Für Bildschirmfotos der Lösungen siehe Seite 56.

Das folgende Zeichen zeigt an, wenn es ein Bildschirmfoto der Simulationsergebnisse gibt.

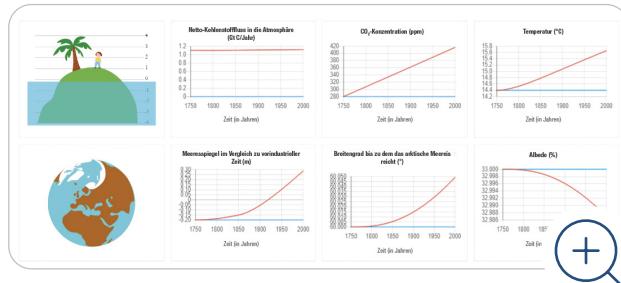


VERGRÖSSERN



Simulation mit Standardwerten. Ist dein Bildschirm klein, wische zur Seite, um alle Diagramme zu sehen.

VERGRÖSSERTE ANSICHT AUF SEITE 56



Kontrollszenario (rot): +2,5 Gt C/Jahr durch menschliche Aktivitäten

VERGRÖSSERTE ANSICHT AUF SEITE 56

Simulation (blau): keine anthropogenen Emissionen

Die Schüler:innen analysieren alle acht Diagramme. Einige Parameter können verändert werden:

- Mit einem Schieberegler am unteren Rand kann man das aktuelle Datum ändern.
- Oben links gibt es eine Schaltfläche zum Zurücksetzen auf die Standardwerte.
- Mit der Toolbox oben rechts kann man: sich die Details der Simulation anschauen, die Sitzung speichern, eine der Simulationen speichern, eine Simulation exportieren, alle Diagramme speichern oder eine neue Simulation beginnen, ohne die aktuelle(n) zu löschen.

Die Schüler:innen beantworten gemeinsam die Fragen des **ARBEITSBLATTES 6.1**:

1. Im Jahr 2100 erreicht die Erderwärmung +1,5°C und der Meeresspiegel steigt um 50 cm. Dies steht im Einklang mit den Zielen des Pariser Abkommens. Achtung: Programmiertechnisch endet die Simulation im Jahr 2520!
2. Es können 17 Eingabeparameter verändert werden (z. B. astronomische Parameter, CO₂-Emissionen, Klima-Rückkopplungen). Das Ergebnis der Simulation sind sechs Diagramme, z. B. „CO₂-Konzentration“, „Netto-Kohlenstofffluss“ und „Albedo“.

Die Schüler:innen können nun verschiedene Simulationen durchführen. Sie können eine kurze Präsentation vorbereiten, um ihre Ergebnisse vorzustellen.

TEIL 2 (GRUPPE 1): MODELLIERUNG AKTUELLER BE-OBSCHTUNGEN [FORTGESCHRITTENE] 50 MINUTEN

Verwenden Sie für diese Gruppe das **ARBEITSBLATT 6.2**.

1. Obwohl die verschiedenen Rekonstruktionen nicht genau übereinstimmen, geben sie im Allgemeinen ähnliche Trends wieder. Alle Rekonstruktionen wie auch die direkten Messungen zeigen eine Erwärmung von etwa 1°C in den letzten 150 Jahren.
2. Die Eingangsparameter, wie die Änderung der CO₂-Konzentration, haben einen konstanten Wert. Zwischen +0 Gt C/Jahr im Jahr 1750 (vor der industriellen Revolution) und der aktuellen Änderungsrate von +12 Gt C/Jahr. SimClimat schlägt einen gewichteten Durchschnitt von +2,5 Gt C/Jahr vor.
3. Bei null anthropogenen Emissionen bleiben die verschiedenen Output-Parameter konstant. Dies stützt die Tatsache, dass die anthropogenen Emissionen die Hauptursache für den seit Ende des 19. Jahrhunderts beobachteten Klimawandel sind.

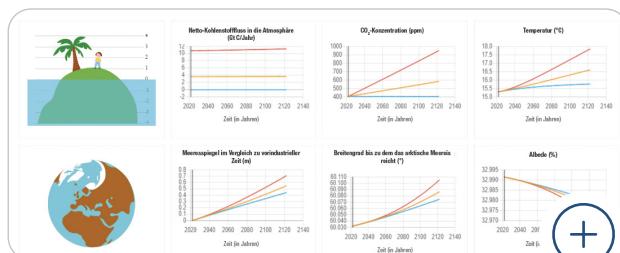
TIPP FÜR LEHRENDE

Umrechnung von CO₂-Emissionen in C-Emissionen:
Kohlenstoff (C) hat eine Atommasse von 12 und Sauerstoff (O) eine Atommasse von 16. CO₂ hat also eine Atommasse von 44. Das bedeutet, dass eine Tonne Kohlenstoff 3,67 Tonnen CO₂ entspricht.

Zum Vergleich: Im Jahr 2023 beliefen sich die weltweiten Gesamtemissionen auf 37 Gt CO₂ (Quelle: Global Carbon Budget, 2024). Dies entspricht: 37/3,67 = 10 Gt Kohlenstoff.

SCHLUSSFOLGERUNG: Ausgehend von Daten aus dem Jahr 1750 kann *SimClimat* den aktuellen Klima-Trend im Zeitraum 2000-2020 reproduzieren. Das deutet auf die Richtigkeit des Modells hin.

Im Folgenden wollen wir auf den Begriff der **Szenarien** eingehen. Dazu geben wir einen Satz von Eingabeparametern in das Modell ein – dieser kann realistisch, utopisch oder unrealistisch sein. Jedes dieser simulierten Szenarien führt zu Ergebnissen für die Zukunft. Diese können nicht im Voraus als richtig oder falsch bewertet werden: Man nennt sie **Projektionen**.



Kontrollszenario (orange). Pessimistisches Szenario (rot). Optimistisches Szenario (blau).

VERGRÖSSERTE ANSICHT AUF SEITE 56

Die Schüler:innen beantworten die Fragen des Arbeitsblattes:

4. Je höher die anthropogenen Treibhausgasemissionen, desto höher ist die Erderwärmung. Das erscheint logisch.
5. Aufgrund der thermischen Trägheit des Systems **steigt die Temperatur weiter an**, bevor sie ein Plateau erreicht. (Dieses optimistische Szenario unterscheidet sich von der vorindustriellen Simulation mit „null anthropogenen Emissionen“: Der Wert für die anthropogenen Treibhausgasemissionen ist im zweiten Fall nicht null).
6. Das Kontrollszenario sowie die pessimistische und die optimistische Projektion ähneln den vom IPCC angegebenen Pfaden RCP8.5, RCP4.5 und RCP2.6.

SCHLUSSFOLGERUNG: Mit SimClimat können die komplexeren Modelle der Klimawissenschaftler:innen grob nachgeahmt werden. Durch Eingabe von wahrscheinlichen Szenarien für die Zukunft kann SimClimat Prognosen für das künftige Klima liefern.

TEIL 2 (GRUPPE 2): MODELLIERUNG VON EISZEITEN

[EXPERT:INNEN] 50 MINUTEN

Verwenden Sie für diese Gruppe das **ARBEITSBLATT 6.3**. Das Dokument 4 zeigt den Temperaturverlauf in der Antarktis, rekonstruiert aus der Isotopenzusammensetzung von in Wostok (Antarktis) entnommenen Eisbohrkernen. Man sieht starke Temperaturschwankungen, mit warmen Perioden alle 100000 Jahre – Zwischeneiszeiten –, die sich mit kälteren Perioden – Eiszeiten (um etwa 10 °C) – abwechseln.

→ TIPP FÜR LEHRENDE

Die physikalischen Gesetze können auch dann (mathematisch) berechnet werden, wenn das Vorzeichen der Zeitvariablen t negativ ist. Wenn man also von der Gegenwart ausgeht und in die Zeit zurückgeht, sollte ein gutes Modell in der Lage sein, die Daten der Vergangenheit zu reproduzieren. SimClimat kann allerdings nicht in der Zeit zurückgehen.

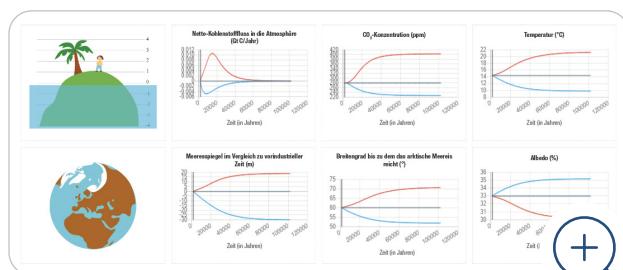
Analyse der Milanković-Zyklen: Die Parameter der Erdumlaufbahn sind dafür verantwortlich, dass etwa alle 100000 Jahre Eiszeiten auftreten. Die Antworten auf die Fragen des Arbeitsblattes lauten:

1. Es gibt 9 Maxima für die Exzentrizität, 20 Maxima für die Achsenneigung und 21 Maxima für die Präzession.
2. Jeweils 7 (77,7%), 18 (90,0%) und 21 (56,7%) dieser Maxima stimmen mit Temperaturmaxima überein. Daher beschränken wir uns im Folgenden auf die Achsenneigung der Erde.
3. Am häufigsten tritt ein Temperaturmaximum auf, wenn die Achsenneigung ein Maximum erreicht hat.

→ TIPP FÜR LEHRENDE

Wenn Parameter der Erdumlaufbahn ein Maximum erreichen, steigt die Temperatur der Erdatmosphäre. Bei der Achsenneigung ist das am auffallendsten und am einfachsten zu verstehen.

Im nächsten Experiment sollte die Temperatur ansteigen, wenn die Achsenneigung am größten ist.

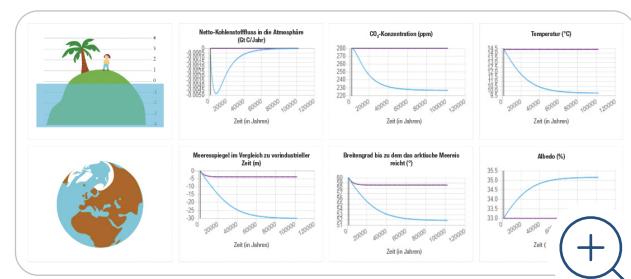


Kontrollszenario (grau), Szenario „Minimale Achsenneigung“ (blau), Szenario „Maximale Achsenneigung“ (rot).

VERGRÖSSERTE
ANSICHT AUF
SEITE 57

4. Die Kontrollsimulation ist sehr stabil.
5. Unsere Hypothese wird bestätigt: **Wenn die Achsenneigung am größten ist, steigt die Temperatur, und die niedrigste Temperatur tritt bei der kleinsten Achsenneigung auf**, auch wenn es Jahrtausende dauert, bis das Gleichgewicht erreicht ist.
6. Bei der Simulation mit dem niedrigsten Temperaturwert (in blau) stimmen die Temperaturen überein ($-4,6^{\circ}\text{C}$ und -5°C), allerdings fällt der Rückgang des Meeresspiegels zu klein aus (nur -30 m statt -130 m).
7. In der „blauen“ Simulation (die einer Eiszeit entspricht) nimmt die Albedo der Erde zu und die atmosphärische CO_2 -Konzentration ab.

Die Schüler:innen untersuchen zunächst die Albedo. Eine konstante Albedo sollte zu einer konstanten Temperatur der Erdatmosphäre führen.

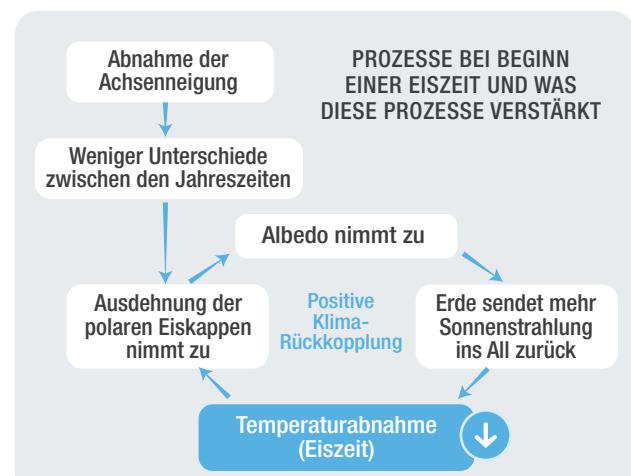


Kontrolle (minimale Achsenneigung) in blau
Simulation einer minimalen Achsenneigung
und einer konstanten Albedo (lila).

VERGRÖSSERTE
ANSICHT AUF
SEITE 57

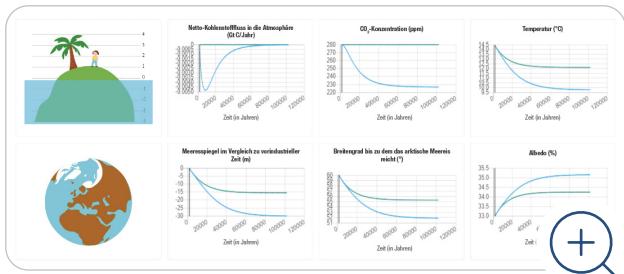
Die Antwort auf die Frage im Arbeitsblatt lautet:

8. Ja, eine **konstante Albedo führt zu einer konstanten Temperatur**. Folglich muss es in der Realität eine Albedo-Rückkopplung geben, die eine Abkühlung des Planeten zur Folge hat.



Anmerkung: „Weniger Unterschiede zwischen den Jahreszeiten“ kann auch bedeuten: „kühl mit längeren Sommern und wärmer mit längeren Wintern“. In der Tat sind die Sommer recht kühl und der Schnee schmilzt nicht vollständig weg.

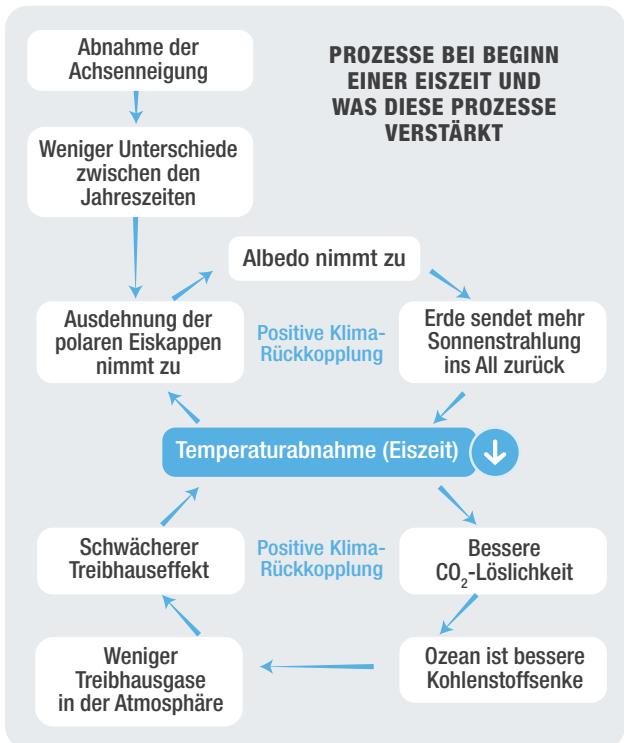
Optional können die Schüler:innen die Rückkopplung der ozeanischen Kohlenstoffsenke überprüfen: Ist die Auflösungsrate des CO_2 s im Ozean konstant, sollte die Temperatur konstant bleiben.



Kontrolle (minimale Achsenneigung) in blau.
Simulation mit minimaler Achsenneigung
und konstanter CO_2 -Auflösung im Ozean (grün).

VERGRÖSSERTE
ANSICHT AUF
SEITE 57.....

9. Die Temperatur ist nicht konstant. Eine konstante Auflösungsrate behindert den Beginn einer Eiszeit, aber sie stoppt sie nicht.



10. Aus diesen beiden Experimenten können wir schließen, dass die Rückkopplung der Albedo viel stärker ist als die Rückkopplung der ozeanischen Senke. In der Realität löst die Albedo-Rückkopplung den Beginn einer Eiszeit aus, die durch die Rückkopplung der ozeanischen Kohlenstoffsenke leicht verstärkt wird.

Die Lehrkraft bestätigt, dass dies auch für die anderen Erdumlaufparameter gilt. Fortgeschrittene Schüler:innen können nach der gleichen Methode einen anderen Erdumlaufparameter testen. Können sich die Schüler vorstellen, wie die beiden Rückkopplungsschleifen gegeneinander spielen?

SCHLUSSFOLGERUNG: SimClimat reproduziert die Trends des Paläoklimas, was ein gewisses Vertrauen in das Modell schafft.



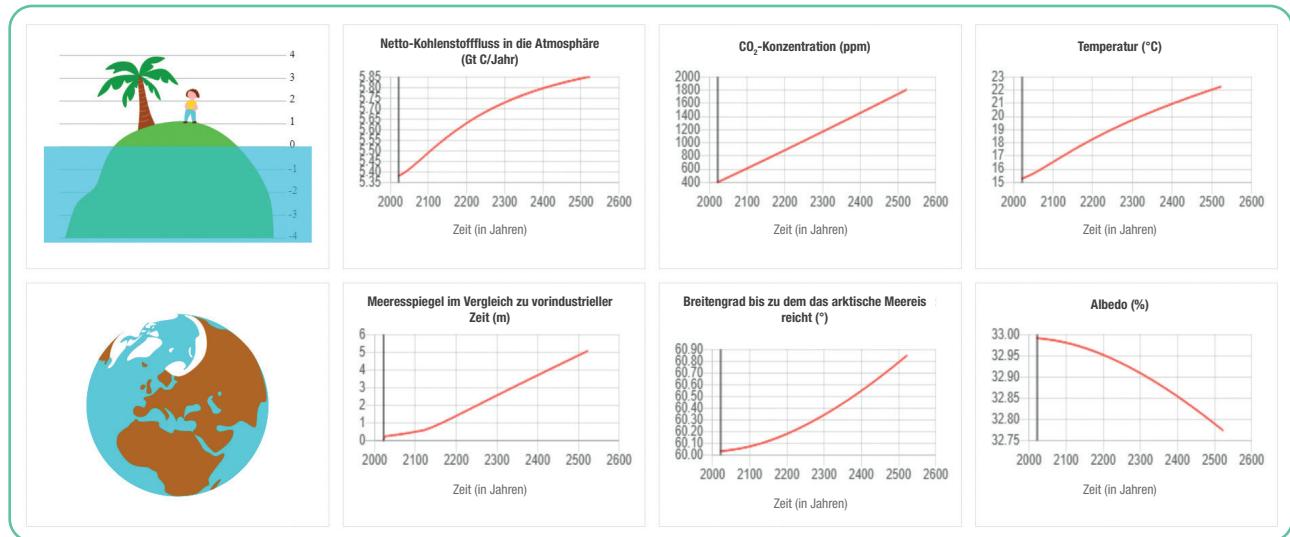
ZUSAMMENFASSUNG 20 MINUTEN

Jedes Schülerpaar erklärt der Klasse seine Ergebnisse. SimClimat kann heutige Messungen reproduzieren sowie Paläoklimata und positive Rückkopplungen simulieren.

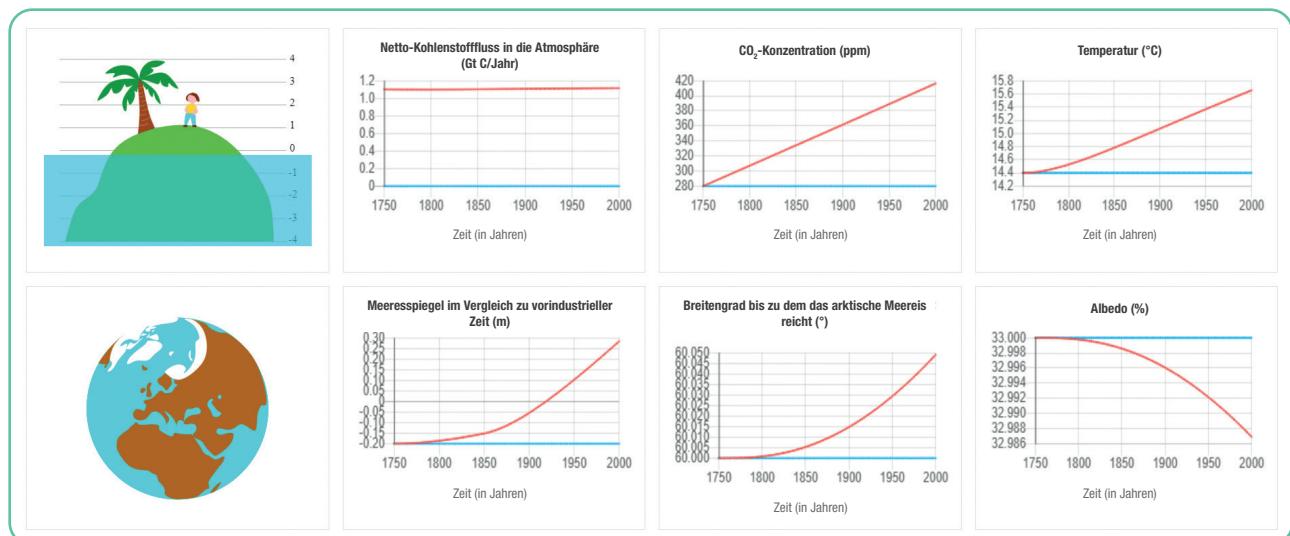
Um die Gültigkeit eines Modells zu überprüfen, muss man Tests durchführen, die mit „echten“ Klimadaten verglichen werden. Je mehr Tests es besteht, **desto größer ist das Vertrauen in das Modell**. Dennoch gibt es immer noch Ungewissheiten! Aus diesem Grund werden in den IPCC-Berichten viele Modelle gleichzeitig verwendet – es werden sowohl die globalen Trends der Parameter als auch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Modellen berücksichtigt.

- Klimamodelle werden nach ihrer Fähigkeit beurteilt, gut dokumentierte Fakten zu reproduzieren:
 - ~ historische und/oder aktuelle Messungen;
 - ~ Paläoklimata wie Eiszeiten und Warmzeiten;
 - ~ das Klima anderer Planeten.
- **Vertrauen** entsteht, wenn die Simulationsdaten mit den realen Daten übereinstimmen.
- Ein vertrauenswürdiges Modell kann auf verschiedene Weise verwendet werden:
 - ~ Ein Szenario ist ein vorgegebener Satz von Input-Parametern, der aus historischen, politischen und ethischen Gründen ausgewählt wird.
 - ~ Eine Simulation entspricht einem Durchlauf eines Modells für einen Satz von Input-Parametern. Eine Projektion ist dagegen eine Simulation, die nicht mit realen Daten verglichen werden kann, weil sie eine Vorhersage plausibler zukünftiger Ereignisse wiedergibt.
 - ~ Der IPCC stellt Projektionen aus vielen verschiedenen Modellen zusammen, um die zuverlässigen Trends für die Zukunft zu ermitteln.

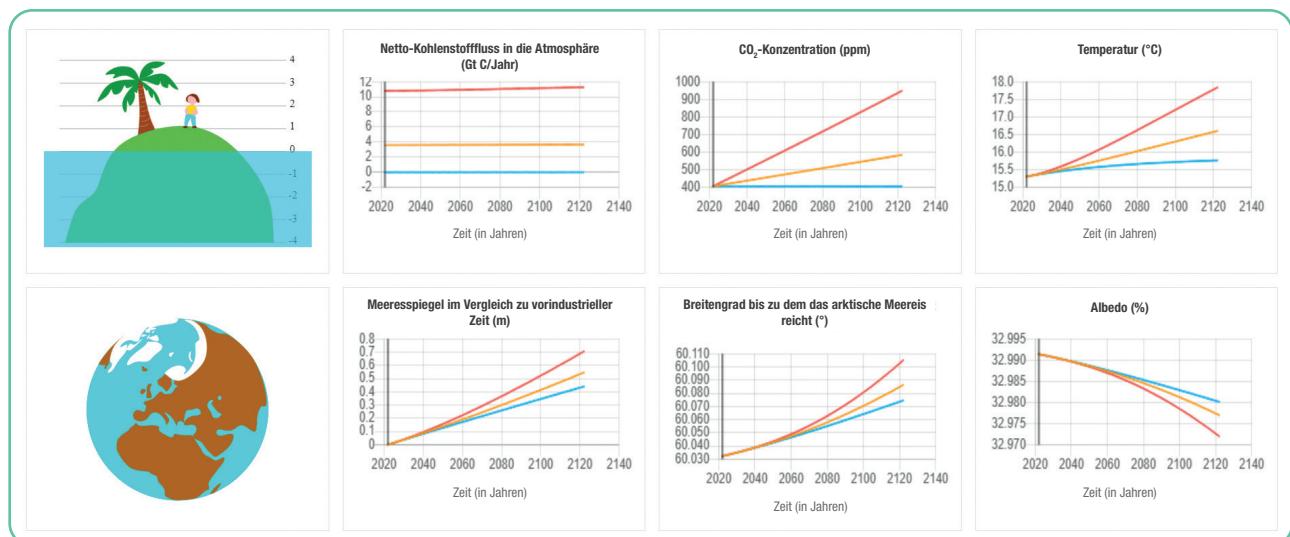
SIMCLIMAT: BILDSCHIRMFOTOS DER LÖSUNGEN



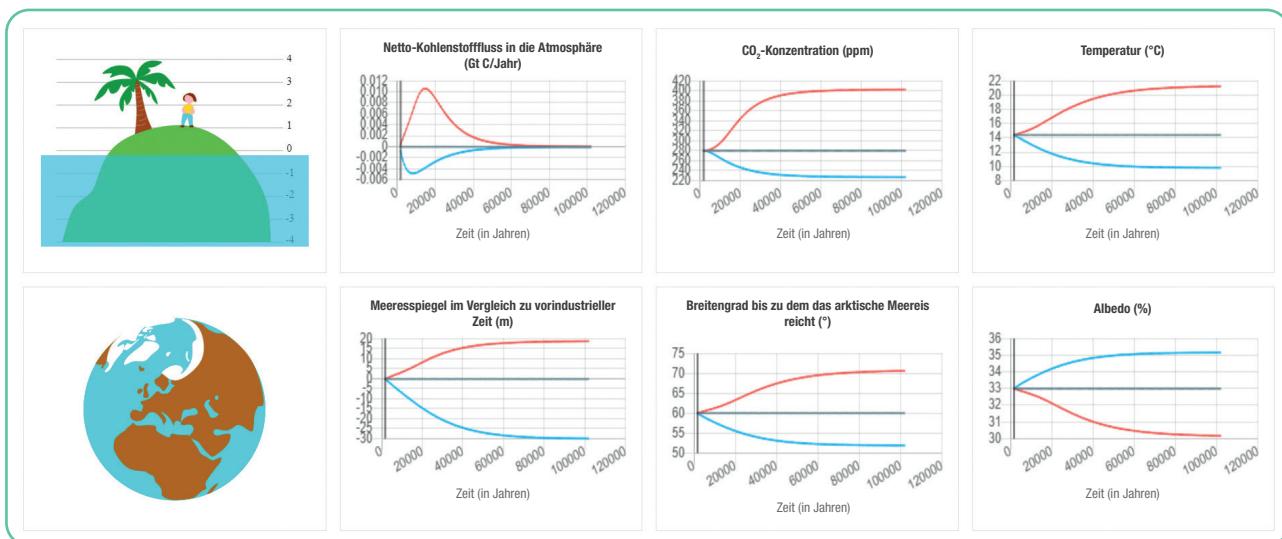
SimClimat-Simulation mit Standardwerten. (Hinweis: Ist dein Bildschirm klein, wische zur Seite, um alle Diagramme zu sehen.)



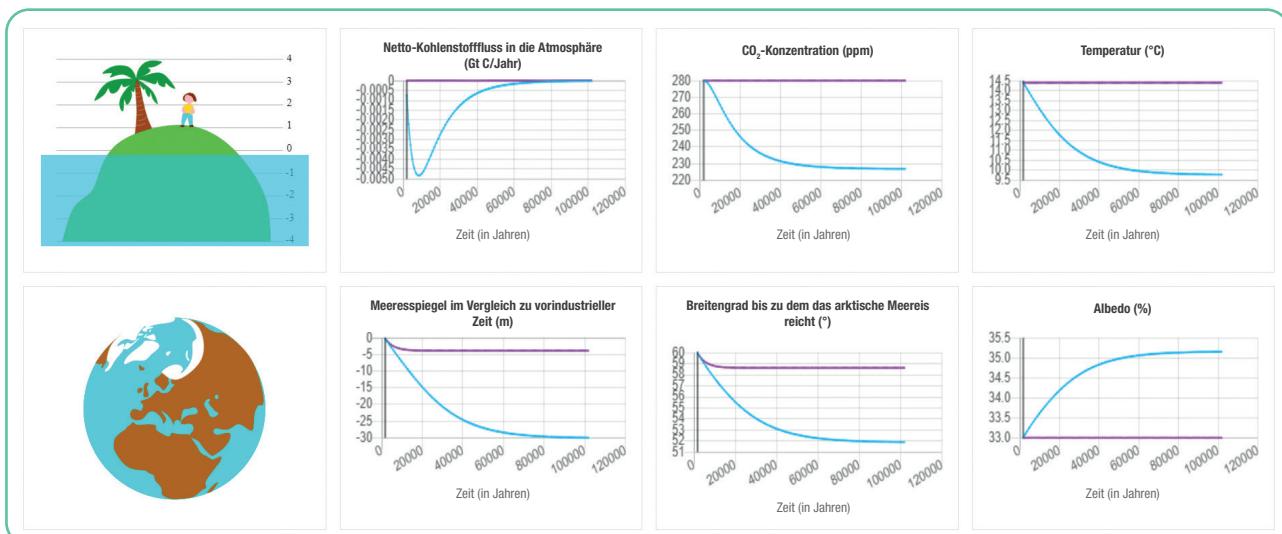
EXPERIMENT 1: Reproduktion aktueller Beobachtungen mit SimClimat. Kontrollszenario (rot): +2,5 Gt C/Jahr durch menschliche Aktivitäten. Simulation (blau): keine anthropogenen Emissionen.



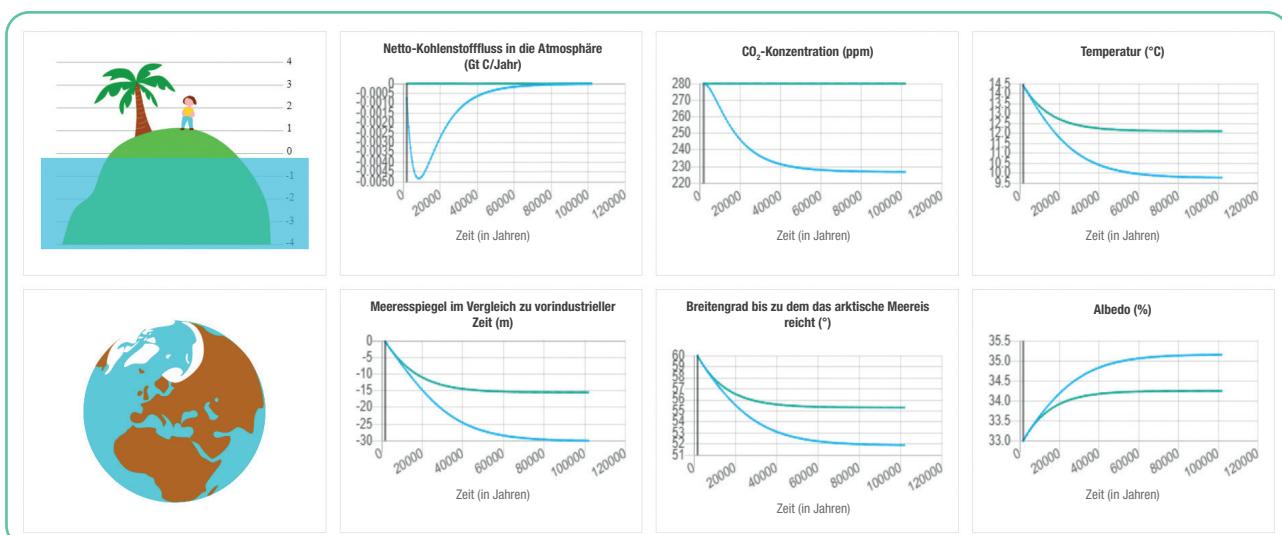
EXPERIMENT 2: Einsatz von SimClimat für Klimaprojektionen. Kontrollszenario (orange), pessimistisches Szenario (rot) und optimistisches Szenario (blau).



EXPERIMENT 3: Überprüfung des Einflusses der Achsenneigung. Kontrollszenario (grau), Szenario mit minimaler Achsenneigung (blau). Szenario mit maximaler Achsenneigung (rot).



EXPERIMENT 4: Untersuchung der Albedo-Rückkopplung. Kontrolle (minimale Achsenneigung) in blau. Simulation mit minimaler Achsenneigung und konstanter Albedo (lila).



EXPERIMENT 5: Untersuchung der Rückkopplung der ozeanischen Senke. Kontrolle (minimale Achsenneigung) in blau. Simulation mit minimaler Achsenneigung und konstanter CO₂-Auflösung im Ozean (grün).

ARBEITSBLATT 6.1

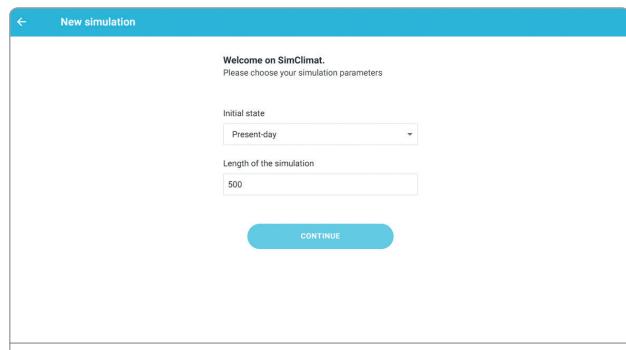


ERSTE SCHRITTE MIT SIMCLIMAT

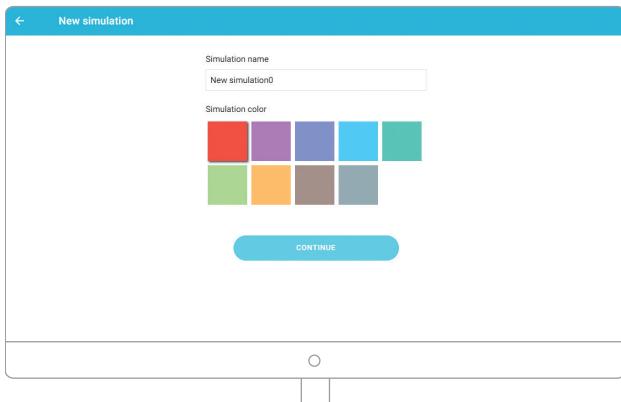
Starte *SimClimat* und führe deine erste Simulation mit Standardwerten durch.



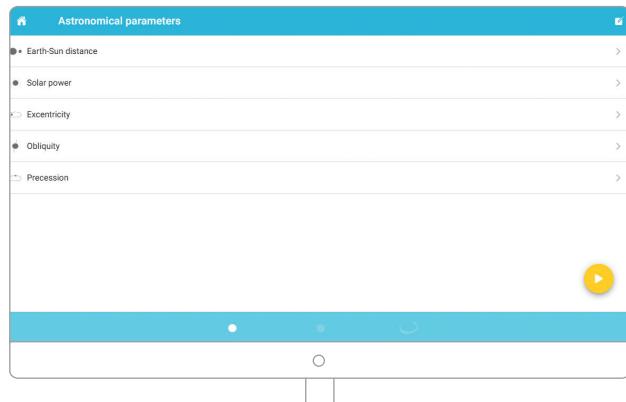
Startseite



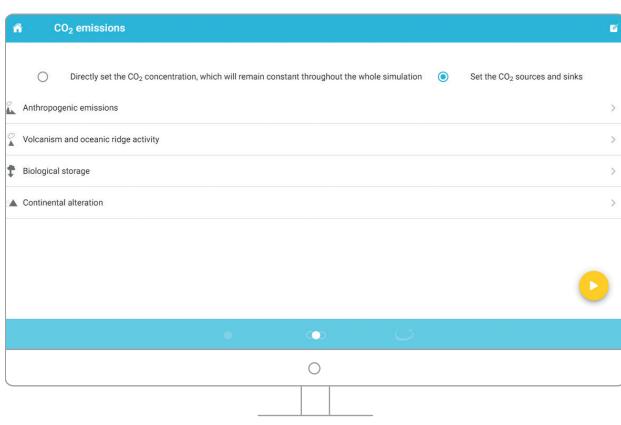
BILDSCHIRM 1
Anfangsdatum und Dauer der Simulation



BILDSCHIRM 2
Farbe und Name der Simulation



BILDSCHIRM 3 – ERSTER REITER
Astronomische Parameter



BILDSCHIRM 3 – ZWEITER REITER
CO₂-Emissionen



BILDSCHIRM 3 – DRITTER REITER
Klima-Rückkopplungen

Aufgabe 1: *SimClimat* geht standardmäßig von anthropogenen CO₂-Emissionen von 12 Gt/Jahr aus. Gibt diese Simulation wieder, was du über das Klima der Erde im Jahr 2100 gehört hast? (Tipp: Benutze den Schieberegler, um dir die Diagramme zum gewünschten Zeitpunkt anzuschauen.)

Aufgabe 2: *SimClimat* ist ein numerisches Modell. Liste alle seine Input- und Output-Parameter auf.



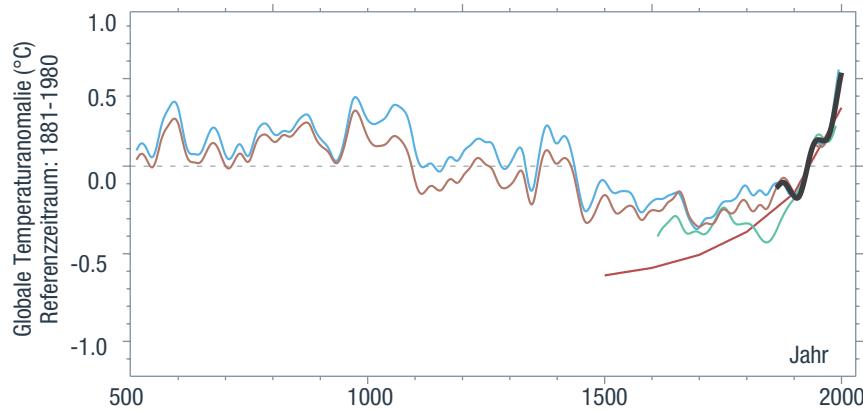
AKTUELLE BEOBACHTUNGEN MODELLIEREN

Aufgabe 1: Beschreibe anhand der Dokumente 1 und 2, wie sich die Durchschnittstemperaturen in der Vergangenheit verändert haben. Erläutere die Ursache für die jüngste Entwicklung.

Dokument 1: Entwicklung der globalen Temperaturanomalie in den letzten 1500 Jahren

Das Diagramm zeigt die Entwicklung der globalen Temperaturanomalie vom Jahr 500 bis zum Jahr 2000. Die verschiedenenfarbigen Kurven entsprechen verschiedenen Rekonstruktionen, die auf paläoklimatischen Archiven (Baumringe, Eisbohrkerne, historische Erntedaten usw.) und direkten Messungen beruhen (**schwarze Kurve**).

- ● ● ● Rekonstruierte Temperatur
- Temperatur (direkte Messung)

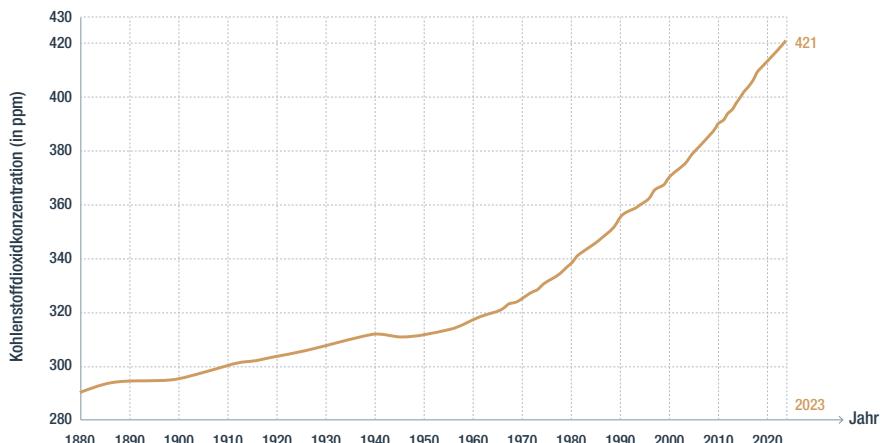


Quelle: IPCC AR5 WGI (2007), Kapitel 5, Abb. 5.7 (angepasst)
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf.

Dokument 2: Entwicklung der atmosphärischen CO₂-Konzentration seit 1880

Dieser Anstieg ist auf anthropogene Emissionen zurückzuführen, die hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe verursacht werden.

Der Klimawandel wird hauptsächlich durch diesen Anstieg der CO₂-Konzentration verursacht.



1 ppm (ein Teil pro einer Million Teile) entspricht 0,0001%.

Quelle: NOAA – Earth System Research Laboratory – Global Monitoring Division
<https://www.climate.gov/media/13560> und https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2_annmean_mlo.txt

→ Nutze *SimClimat*, um die Simulationen der folgenden Szenarien zu vergleichen:

EXPERIMENT NR. 1	KONTILLSZENARIO	SIMULATION
Anfangszustand	Vor-industriell	Vor-industriell
Dauer der Simulation	250 Jahre	250 Jahre
Anthropogene Emissionen	+2,5 Gt C/Jahr	+0,0 Gt C/Jahr



AKTUELLE BEOBACHTUNGEN MODELLIEREN

Aufgabe 2: Warum wurde im Kontrollszenario ein Wert von +2,5 Gt C/Jahr für die anthropogenen Emissionen verwendet, wenn der heutige Wert eher bei 12 Gt C/Jahr liegt?¹

Aufgabe 3: Beschreibe das Klima im Jahr 2000 unter der Annahme, dass es keine anthropogenen Emissionen gibt. Was scheint die Hauptursache für den raschen Klimawandel im letzten Jahrhundert zu sein?

SimClimat kann anscheinend die heutigen Messungen reproduzieren, aber kann es uns einen Einblick in das zukünftige Klima der Erde geben? Wir gehen von dem wissenschaftlichen Konsens aus, dass der Anstieg der globalen Temperatur auf die Zunahme der vom Menschen die Atmosphäre emittierten Treibhausgase zurückzuführen ist. Für die Zukunft können wir annehmen, dass die CO₂-Emissionen konstant bleiben. Oder wir gehen davon aus, dass die Emissionen aufgrund des Bevölkerungswachstums und des höheren Lebensstandards in der Welt weiter ansteigen werden. Im Idealfall gehen wir davon aus, dass die Regierungen angesichts der mit der Erderwärmung verbundenen Risiken drastische Maßnahmen ergreifen und die CO₂-Emissionen zurückgehen.

→ Nutze *SimClimat*, um die Simulationen der folgenden Szenarien zu vergleichen:

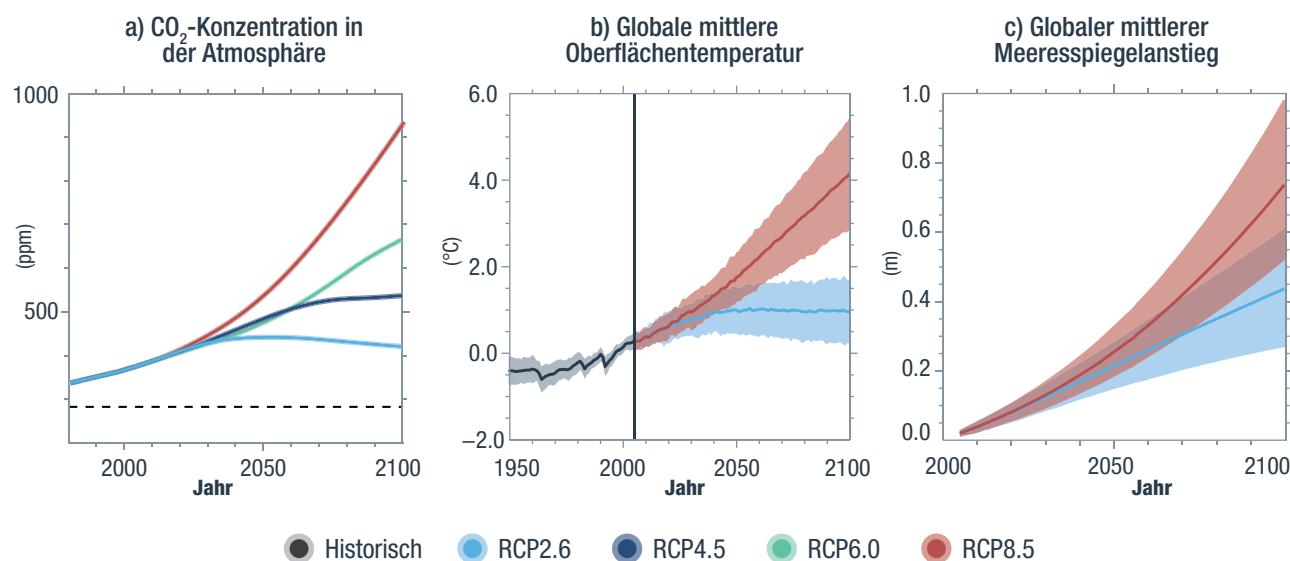
EXPERIMENT NR. 2	KONTROLLSzenARIO	PESSIMISTISCHES SZENARIO	OPTIMISTISCHES SZENARIO
Anfangszustand	Heute	Heute	Heute
Dauer der Simulation	100 Jahre	100 Jahre	100 Jahre
Anthropogene Emissionen	+8,0 Gt C/Jahr	+24,0 Gt C/Jahr	+0,0 Gt C/Jahr

Aufgabe 4: Erkläre die Entwicklung der globalen Temperatur und deren Ursache.

Aufgabe 5: Beschreibe die Temperaturentwicklung in einem optimistischen Szenario.

Aufgabe 6: Die in den IPCC-Berichten bewerteten Klimaprojektionen beruhen auf Simulationen mit verschiedenen Klimamodellen, die wesentlich komplexer sind als *SimClimat*. Das Dokument 3 zeigt die globale Temperaturänderung (b) und den globalen Meeresspiegelanstieg (c) für verschiedene Szenarien der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (a). Welches Szenario ist das optimistische? Das pessimistische? Vergleiche die Ergebnisse mit deinen *SimClimat*-Simulationen.

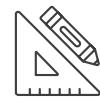
Dokument 3: Projektionen der am „Coupled Model Intercomparison Project“ (CMIP, Modellvergleichsprojekt) beteiligten Modelle



Quelle (angepasst): 2013, IPCC AR5 WG1, Abb. SPM. Siehe: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

- a) Vier verschiedene Szenarien für Veränderungen der atmosphärischen CO₂-Konzentration.
- b) Die fetten Linien zeigen die Änderung der mittleren Oberflächentemperatur der Erde (im Vergleich zum Referenzzeitraum 1850–1900), die mit den verschiedenen Klimamodellen für die Szenarien RCP2.6 (blau) und RCP8.5 (rot) simuliert wurde. Die einhüllende Kurve um die farbigen Kurven entspricht allen Werten, die von den verschiedenen Modellen simuliert wurden.
- c) Wie b), aber für den Meeresspiegelanstieg.

1 Quelle: Global Carbon Budget, 2023 <https://globalcarbonbudget.org/download/933/?tmstv=1701441499>



EISZEITEN MODELLIEREN

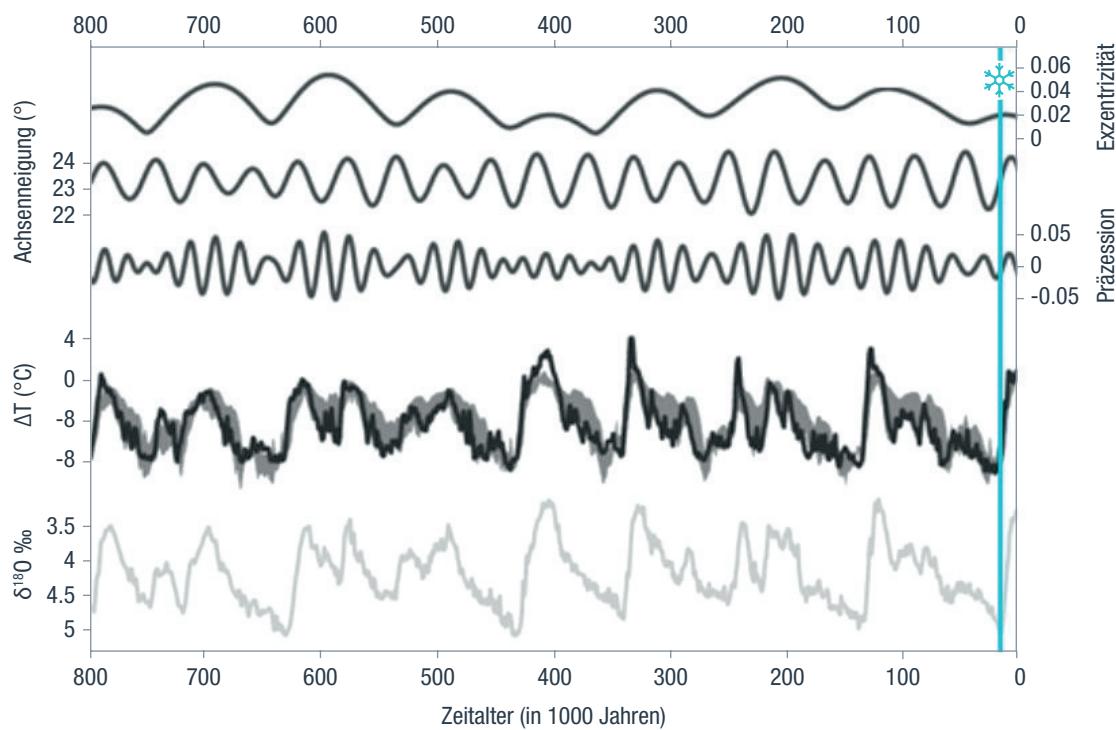
Derzeit befinden wir uns in einer Zwischeneiszeit, die seit 10 000 Jahren andauert, wobei das letzte eiszeitliche Maximum 21 000 Jahre zurückliegt. Temperaturrekonstruktionen in anderen Teilen der Welt in Verbindung mit Sedimentarchiven zeigen, dass während des letzten eiszeitlichen Maximums die globale Temperatur 5°C niedriger war als heute, ein Eisschild ganz Nordeuropa bedeckte und der Meeresspiegel 130 m niedriger war als heute.

Dokument 4: Isotopenzusammensetzung in Eisbohrkernen aus Wostok in der Antarktis

Aus der Isotopenzusammensetzung von Eisbohrkernen abgeleitete Temperaturanomalie.

Die Schwankungen der Erdumlaufbahn auf geologischen Zeitskalen werden durch drei Bahnpараметer definiert: Präzession, Achsenneigung und Exzentrizität.

Die **hellblaue Linie** entspricht dem letzten eiszeitlichen Maximum (vor 21 000 Jahren).



Quelle: IPCC AR5 WG1 (2013), Kapitel 5, Abb. 5.3 S. 400 (angepasst): 'Erdumlaufparameter und Proxyrekonstruktionen in den letzten 800 000 Jahren'.
Siehe: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

Hypothese: Könnten Erdumlaufparameter, unabhängig von der atmosphärischen CO₂-Konzentration, der Grund für die Schwankungen der Oberflächentemperatur der Erde sein?

- Aufgabe 1:** Finde und liste die lokalen Maxima der Kurven für die Exzentrizität, die Achsenneigung und die Präzession auf.
- Aufgabe 2:** Wie viele dieser Exzentrizitätsmaxima fallen mit Temperaturmaxima oder -minima zusammen? Wie sieht es mit den Maxima der Achsenneigung und der Präzession aus?
- Aufgabe 3:** Formuliere eine eigene Hypothese: „Am häufigsten tritt ein Temperaturmaximum auf, wenn...“. Teste deine Hypothese mit SimClimat in folgendem Experiment.



EISZEITEN MODELLIEREN

→ Nutze *SimClimat*, um die Simulationen der folgenden Szenarien zu vergleichen:

EXPERIMENT NR. 3	KONTROLLSzenario	PESSIMISTISCHES SZENARIO	OPTIMISTISCHES SZENARIO
Anfangszustand	Vor-industriell	Vor-industriell	Vor-industriell
Dauer der Simulation	100 000 Jahre	100 000 Jahre	100 000 Jahre
Achsenneigung	Heute (23,5°)	Minimum (21,8°)	Maximum (24,4°)

Aufgabe 4: Wie stabil ist deine Kontrollsimulation?

Aufgabe 5: Wird deine Hypothese über den Zusammenhang zwischen Temperatur und Achsenneigung bestätigt oder widerlegt?

Aufgabe 6: Wie verhalten sich der Meeresspiegel und die von Eis bedeckte Fläche der Erde in deinem „kältesten“ Szenario im Vergleich zu den oben genannten historischen Messungen?

Auch wenn die Änderung von Erdumlaufparametern die Ursache für Eiszeiten sein kann, ändern diese nichts an der Gesamtmenge der Sonnenstrahlung, die jedes Jahr auf die Erde trifft. Folgefrage: In welcher Weise können die Erdumlaufparameter eine Eiszeit auslösen?

Aufgabe 7: In dem Brettspiel, das ihr in der Unterrichtsstunde 3 gespielt habt, gab es eine Karte zum Thema „Rückkopplung zwischen Albedo und Klima“. Würde eine hohe Albedo eine Eiszeit begrenzen oder verstärken?

EXPERIMENT NR. 4

Hypothese: Die Achsenneigung beeinflusst die Strahlungsmenge, die im Sommer von den polaren Eiskappen aufgenommen wird, und wie viel Eis daraufhin schmilzt. Da die Albedo der Anteil der Sonnenstrahlung ist, der in den Weltraum reflektiert wird, ist die Albedo umso höher, je ausgedehnter die polare Eiskappe ist und je weniger Strahlung von der Erde gespeichert wird. Die Albedo-Rückkopplung könnte also eine Eiszeit auslösen.

EXPERIMENT NR. 4	KONTROLLSzenario	SIMULATION
Anfangszustand	Vor-industriell	Vor-industriell
Dauer der Simulation	100 000 Jahre	100 000 Jahre
Achsenneigung	Minimum (21,8°)	Minimum (21,8°)
Albedo	Standard (von <i>SimClimat</i> als Funktion der Temperatur berechnet, was die Rückkopplung ermöglicht)	Konstant – vorindustrieller Wert (33%)

Aufgabe 8: Wird deine Hypothese bestätigt oder widerlegt?

EXPERIMENT NR. 5 (OPTIONAL)

Hypothese: Der Ozean kann als Kohlenstoffsenke fungieren, weil sich CO₂ im Wasser löst. CO₂ löst sich in kaltem Wasser leichter auf. In antarktischen Eisbohrkernen gefundene Luftblasen bestätigen, dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre während der Eiszeiten um 100 ppm niedriger war als während der Zwischeneiszeiten. Die Rückkopplung der ozeanischen Senke könnte also eine Eiszeit auslösen.

EXPERIMENT NR. 5	KONTROLLSzenario	SIMULATION
Anfangszustand	Vor-industriell	Vor-industriell
Dauer der Simulation	100 000 Jahre	100 000 Jahre
Achsenneigung	Minimum (21,8°)	Minimum (21,8°)
Albedo	Standard (von <i>SimClimat</i> als Funktion der Temperatur berechnet)	Konstant – vorindustrieller Wert (33%)

Aufgabe 9: Wird deine Hypothese bestätigt oder widerlegt?

Aufgabe 10: Welche dieser beiden Rückkopplungen ist die vorherrschende? Warum?

UNTERRICHTSSTUNDE 7 Szenarien konstruieren und die Reaktion der Modelle beobachten

HAUPTFÄCHER
Mathematik
Physik
Biologie

DAUER
Vorbereitung: 10 Minuten
Aktivität: 1 Stunde

ALTER
> 15 Jahre

UNTERRICHTSMETHODE
Dokumentenanalyse,
Diagramme erstellen
und analysieren

LERNZIELE

Die Schüler:innen treffen Entscheidungen und passen Parameter an, um verschiedene Szenarien zu konstruieren. Sie untersuchen die Klimaprojektionen, um die Auswirkungen ihrer Entscheidungen zu bewerten. Die Szenarien, die sie konstruieren werden, hängen von Entscheidungen von Landwirt:innen ab, und die Folgen (Reaktionen der Modelle) basieren auf Biologie. Genauso basieren die Szenarien des IPCC auf gesellschaftlichen Entscheidungen, während die Folgen für das Klima auf naturwissenschaftlichen Gesetzen beruhen.

NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ

Bereich 1 – Verankerung von Nachhaltigkeitswerten
Kompetenz 1.1 – Wertschätzung der Nachhaltigkeit

**SCHLÜSSELBEGRIFFE**

Parameter, Szenario, gesellschaftliche Entscheidungen, Klimasimulation, Klimaprojektion

VORBEREITUNG 10 MINUTEN

- Es werden Computer benötigt, um die folgenden drei CLIM-Videos im Unterricht zu zeigen:

„Das Klimasystem der Erde“ von Fiona O’Connor (MET Office Science, Großbritannien)



„Klimawandel: Klimaschutzpfade“ von Joeri Rogelj (Imperial College London, Großbritannien)



„Die UN-Klimakonferenzen“ von Sofia Palazzo (Imperial College London, Großbritannien)



- Drucken Sie für jedes Schülerpaar die **ARBEITSBLÄTTER 7.1** und **7.2** aus.
- Drucken Sie für jedes Schülerpaar das **ARBEITSBLATT 7.3** aus [**EINSTEIGER:INNEN**].
- Geben Sie jedem Schülerpaar eine digitale Version der Tabelle des **ARBEITSBLATTES 7.4 [FORTGESCHRITTENE]**.

EINLEITUNG 30 MINUTEN

In der Unterrichtseinheit A haben die Schüler:innen gesehen, dass der Mensch für den derzeitigen Klimawandel verantwortlich ist. Dieser hat seit der industriellen Revolution große Mengen an Treibhausgasen in die Atmosphäre emittiert.

Stellen Sie Ihren Schüler:innen Fragen zum Zusammenhang zwischen Lebensmitteln und Treibhausgasemissionen:

- Woher kommen deine Lebensmittel? Aus dem Garten eurer Familie? Aus dem Supermarkt? Von einem Bauernhof?*
- Was ist ein Milchviehbetrieb?*
Mögliche Antworten: Ein Milchviehbetrieb produziert Milch. Die Kühe fressen Gras (oder werden im Stall mit Heu, Soja, Mais usw. gefüttert). Die Milch kann zu Käse, Joghurt oder Butter verarbeitet werden, die auf dem Hof verkauft werden.
- Erläutern Sie die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Aktivitäten auf die Treibhausgasemissionen.*

Um den Schüler:innen zu helfen, können Sie ihnen das CLIM-Video „Das Klimasystem der Erde“. zeigen. Es erklärt, wie Wissenschaftler:innen verschiedene Parameter (die Konzentrationen von Wasserdampf, flüssigem Wasser und Methan) untersuchen, um die Chemie der Atmosphäre zu studieren.

- Beschreibt verschiedene Arten von landwirtschaftlichen Betrieben in eurem Land/auf der ganzen Welt. Was ist ausschlaggebend dafür, wie Landwirt:innen ihr Land bewirtschaften?*

Erwartete Antworten: Klima, Bodenqualität, in der Region verwendete Rinderrassen, Anbaumethoden, Entscheidungen des/der Landwirt:in (finanzieller Spielraum, ökologische Überzeugung, kulturelle Praktiken, usw.). Erwähnen Sie unbedingt die Rinderrassen und Anbaumethoden, wenn es die Schüler:innen nicht tun.

DURCHFÜHRUNG 40 MINUTEN

1. Die Schüler:innen erkunden, wie Kuhmilch hergestellt wird. Sie lesen sich das **ARBEITSBLATT 7.1** durch und füllen die Tabelle aus.
2. Die Schüler:innen versetzen sich in die Lage eines Milchbauern oder einer Milchbäuerin und schreiben einen kurzen Text über ihren idealen Bauernhof. Vielleicht möchten einige ihren Text mit der Klasse teilen. Sie sollten hervorheben, was sie bewegt hat. Geht es ihnen um den Tier- oder Umweltschutz, werden sie ihre Kühe sicherlich die meiste Zeit des Tages auf einer großen Wiese grasen lassen. Gehen Sie auf lokale Bräuche, Kulturen und wirtschaftliche Gründe ein.
3. In dieser Unterrichtsstunde befindet sich der Bauernhof direkt neben einer Joghurtfabrik. Die Schüler:innen wählen für die Milchviehhaltung ein Modell, das die Fabrik beliefert. Sie sollen auf dem **ARBEITSBLATT 7.2** ankreuzen für welches Modell sie sich entschieden haben (jedes Kästchen steht für eine Reihe von Parametern).
4. [EINSTEIGER:INNEN] beantworten die Fragen auf **ARBEITSBLATT 7.3**, während [FORTGESCHRITTENE] das **ARBEITSBLATT 7.4** bearbeiten können.

HINTERGRUNDINFORMATIONEN FÜR LEHRENDE

BERÜCKSICHTIGUNG DES TIERSCHUTZES IM UNTERRICHT

Schüler:innen sind dank der Berichte in den sozialen Medien (z. B. über Schlachthöfe und Großbrände) stärker für Tierschutzfragen sensibilisiert. Dies spiegelt sich in einem veränderten Konsumverhalten und insbesondere in der Ernährungsweise wider.¹

Der Tierschutz wird zunehmend in den Lehrplänen der Schulen berücksichtigt. Allerdings neigen Lehrende, die das Thema lehren, immer noch dazu, „umstrittenes Wissen über die Emotionen von Rindern zu vermeiden, da sie dadurch mit den Werten und Praktiken der Viehhalter:innen in Konflikt geraten könnten“.²

1 Quelle: 2022, Péraud-Puigségur, S., in: Annuel de la Recherche en Philosophie de l'Education, 2, 1 18, 'La grenouille, la vache et le koala. Que faire de la Aufgabe animale à l'école de l'anthropocène'

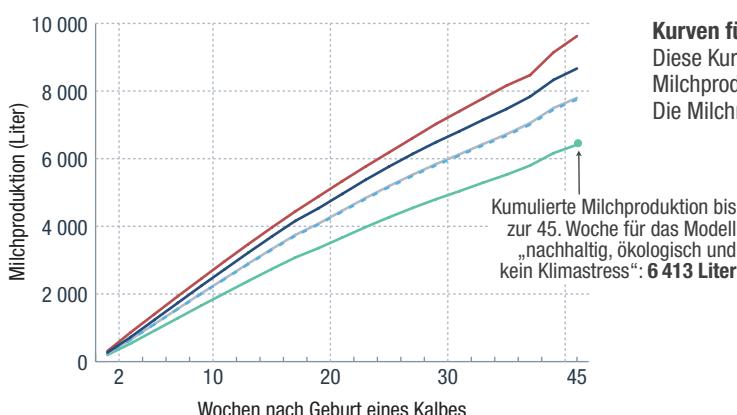
2 Quelle: 2018, Lipp, A., et Simonneaux, L., in RDST 18, 137 160, 'Savoirs et controverses liés au bien-être des bovins: Comment des enseignants de zootechnie les prennent-ils en compte?' (<https://doi.org/10.4000/rdst.2072>)

LÖSUNG: WAS BEOBACHTEN DIE SCHÜLER:INNEN BEI IHRER MILCHPRODUKTIONSMETHODE?

Die Schüler:innen ermitteln Parameter, die die Milchproduktion der Kuh beeinflussen (Beispiel: die intensive Landwirtschaft in Paraguay).

Sie sollten ihre eigenen Ansichten und Werte berücksichtigen und diese Parameter (intensive oder ökologische/den Tierschutz berücksichtigende oder das Klima schützende Landwirtschaft) anpassen.

Abschließend bewerten sie ihre Entscheidungen, indem sie sich die verschiedenen, von den jeweiligen Parametern abhängigen Projektionen anschauen. Sie geben reale (beobachtete) Daten in das Modell ein (Input) und das Ergebnis (Output) sind Projektionen für die Milchproduktion. Das Modell wird als „Black Box“ betrachtet. Die Schüler:innen müssen nicht wissen, wie die Milchmengen für die Szenarien berechnet werden. Sie müssen lediglich die Parameter identifizieren, die die verschiedenen Szenarien bestimmen.



Kurven für die kumulierte Milchproduktion:

Diese Kurven entsprechen verschiedenen Milchproduktionspraktiken (Szenarien) für eine Holstein-Kuh. Die Milchmenge ist je nach Szenario unterschiedlich.

Milchproduktion einer Holstein-Kuh

- Nachhaltige, ökologische Landwirtschaft, kein Klimastress
- Nachhaltige Landwirtschaft
- Klimastress
- Längerer Zeitraum zwischen der Geburt zweier Kälber
- Kein Klimastress

ZUSAMMENFASSUNG 10 MINUTEN

Die Schüler:innen haben sich für eine bestimmte Milchproduktionsart entschieden. Sie haben auf Traditionen, wirtschaftliche Rentabilität und/oder ökologische Aspekte gesetzt. Sie haben ein Set von Parametern gewählt (z. B. Holstein-Kuh, nicht-ökologische Landwirtschaft, Klimastress – graue Kurve). Indem sie ihre eigenen Szenarien erstellen, verstehen sie den Einfluss von gesellschaftlichen Entscheidungen.

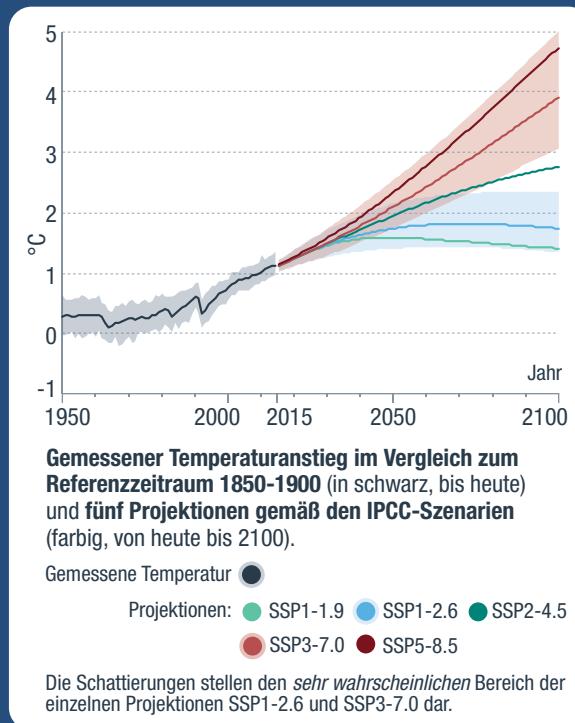
Die Schüler:innen haben die Szenarien für die Milchproduktion einer Kuh nach der Geburt eines Kalbes studiert. Einige **Projektionen** zeigen eine höhere Milchproduktion (siehe z. B. die Kurve für die intensive Landwirtschaft). Diese Szenarien sind eine gute Analogie zu Klimaszenarien und Klimaprojektionen: **Die IPCC-Szenarien beruhen auf gesellschaftlichen Entscheidungen, während die Folgen für das Klima auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen.** Im CLIM-Video „Klimawandel: Klimaschutzwälder“ geht es u. a. um gesellschaftliche Entscheidungen und einen nachhaltigeren Lebenswandel.

HINTERGRUNDINFORMATIONEN FÜR LEHRENDE

DIE PROJEKTIONEN DES IPCC

Zu einem Szenario gehört ein Satz von Klimaparametern mit bestimmten Werten. Es gibt verschiedene Annahmen darüber, wie sich die Treibhausgasemissionen (ein wichtiger Klimaparameter) in den kommenden Jahrzehnten entwickeln werden.

Ein „gemeinsam genutzter sozioökonomischer Pfad“ (auf Englisch: Shared-Socioeconomic Pathway (SSP)) ist ein Szenario mit prognostizierten globalen sozioökonomischen Veränderungen, die von gesellschaftlichen Entscheidungen abhängen. Diese Szenarien umfassen unterschiedliche Projektionen – von optimistisch (drastische Reduzierung der Treibhausgasemissionen) bis pessimistisch (weiterer Anstieg der Emissionen). Fünf dieser Szenarien werden im Folgenden vorgestellt.



Quelle: IPCC AR6 (2021), Abb. SPM.8a (angepasst) <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-8/>

Mit dem interaktiven IPCC-Atlas kann man vergleichen, wie sich das Klima von einem Szenario zum nächsten entwickelt, indem man sich verschiedene Variablen des gemittelten Klimas (z. B. mittlere Temperatur, Gesamtneidenschlag) und die Klimaextreme (z. B. Anzahl der Tage mit einer Maximaltemperatur über 35°C) anschaut.

Die Kennzeichnung jedes Szenarios gibt die Menge der Treibhausgasemissionen und die in den Berechnungen verwendeten gemeinsamen sozioökonomischen Pfad wieder. In der Vergangenheit wurden für die verschiedenen Szenarien der Treibhausgasemissionen sogenannte **RCP-Pfade (Representative Concentration Pathways)** verwendet. Im Gegensatz zu SSP-Szenarien berücksichtigen die RCP-Pfade keine sozioökonomischen Veränderungen. Dennoch gibt es zwischen diesen beiden Szenarientypen Ähnlichkeiten (siehe Tabelle).

SSP-SZENARIO	ÄHNLICHSTES RCP-SZENARIO	KOMMENTAR
● SSP1-1.9	Keine Entsprechung	Sehr optimistisch
○ SSP1-2.6	RCP2.6	Optimistisch
● SSP2-4.5	RCP4.5	Weiter so
● SSP3-7.0	Zwischen RCP6.0 und RCP8.5	Pessimistisch
● SSP5-8.5	RCP8.5	Sehr pessimistisch

Quelle: IPCC AR6 (2021) Kasten 1.4, Tabelle 1 (angepasst) <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/chapter-1/ccbox-1-4-figure-1/>

Die vom IPCC untersuchten Szenarien beschreiben unterschiedliche wärmere Welten. SSP1 geht von einer Welt aus, die auf einer nachhaltigen Entwicklung beruht – es ist das optimistischste Szenario. Durch eine starke internationale Zusammenarbeit wird die Welt nachhaltiger, wobei sich der Schwerpunkt von Wirtschaftswachstum auf eine integrativeren Entwicklung verlagert, die die Umwelt und das menschliche Wohlergehen in den Vordergrund stellt.

Ungleichheiten werden abgebaut, sowohl zwischen als auch innerhalb von Ländern. Der Konsum ist auf ein geringes materielles Wachstum und den Einsatz von weniger Ressourcen und Energie ausgerichtet.

Es zeigt sich zum Beispiel, dass das SSP1-Szenario das einzige ist, das die Ziele des Pariser Abkommens erfüllt (Erderwärmung $\leq 1,5^{\circ}\text{C}$).

Diese Klimatrends werden von den verschiedenen Delegationen auf den UN-Klimakonferenzen häufig verwendet und zitiert. Siehe dazu das CLIM-Video „Die UN-Klimakonferenzen“ von Sofia Palazzo (Imperial College London, Großbritannien).

ARBEITSBLATT 7.1



RINDERHALTUNG – DREI BEISPIELE



Flugzeugperspektive



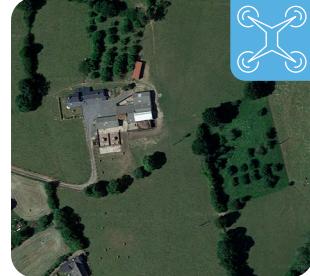
Drohnenperspektive



Fußgängerperspektive

FRANKREICH: BOCAge-LANDSCHAFT IN DER NORMANDIE

In der Normandie gibt es sie noch: die kleinbäuerliche Landwirtschaft in Familienbetrieb. Die Wiesen sind klein und werden von Hecken begrenzt – das ist die sogenannte Bocage-Landschaft. Die Artenvielfalt ist groß, vor allen Dingen Insekten und Vögel leben in und von den zahlreichen Bäumen und Sträuchern. Traditionell werden in der Normandie Kühe für die Milchproduktion gezüchtet (z. B. für die Herstellung von Camembert). Es werden aber auch Rinder für die Fleischproduktion gezüchtet. Die Rinder und Kühe emittieren Methan, das ein starkes Treibhausgas ist. In Frankreich sind die verwendeten Rinderrassen – das Normannen-Rind und das vorherrschende Holstein-Rind – sehr produktiv. Einige Rassen werden speziell für die Fleischerzeugung gezüchtet: das Charolais-, das Limousin- und korsische Rind.



BURKINA FASO: DIE BUCKELRINDER DER FULANI

Die Fulani besitzen große Herden von Zebus (Buckelrindern). Zebus sind mit Kühen verwandt. Die Fulani melken die weiblichen Tiere und nutzen die männlichen Tiere als Zugtiere. Zu besonderen Anlässen essen sie manchmal auch das Fleisch ihrer Zebus.



Die Zebus emittieren das starke Treibhausgas Methan. Die Tiere weiden auf großen, sehr trockenen Flächen und trinken aus großen, vom Menschen angelegten Wasserstellen. Extreme und immer häufigere Dürreperioden, die auf den Klimawandel zurückzuführen sind, führen zu Ertragsverlusten und zum Sterben der Herden.



PARAGUAY: RINDERFARMEN

In Brasilien und Paraguay roden die Bauern die Wälder, um Flächen für die Rinderzucht zu schaffen. Die Rinder leben dichtgedrängt in riesigen Ställen. Sie dienen der Ernährung der Bevölkerung vor Ort und werden teilweise außerhalb Südamerikas exportiert. Die Rinder sind die Hauptverursacher der Methanemissionen, eines der häufigsten Treibhausgase. Die Abholzung der Wälder trägt zum Klimawandel bei.

VERSCHIEDENE ARTEN DER RINDERHALTUNG AUF DER WELT

ORT/KLIMA	ART DER VIEHHALTUNG UND PRODUKTION	BENÖTIGTE FLÄCHE FÜR DIE VIEHHALTUNG (Klein? Groß?)
FRANKREICH BOCAge-LANDSCHAFT IN DER NORMANDIE		
BURKINA FASO DIE BUCKELRINDER DER FULANI		
PARAGUAY RINDERFARMEN		

ARBEITSBLATT 7.2



DIE CHARAKTERISTIKEN DER VERSCHIEDENEN RINDERHALTUNGSARTEN (NUR EIN KÄSTCHEN ANKREUZEN)

INTENSIVE HALTUNGSART, KEIN KLIMASTRESS

Die intensive Rinderhaltung zeichnet sich durch sehr hohe Fleisch- oder Milcherträge aus: Die Tiere werden auf einer kleinen Fläche gehalten, u. a. mit Antibiotika behandelt, mit hochwertigem Futter gefüttert und mit automatischen Maschinen gemolken. Diese Art der Landwirtschaft erfordert große Mengen an Energie und Ressourcen (Treibstoff, Pflanzenschutzmittel, Pflanzendünger). Sie hat große Auswirkungen auf die Umwelt.



VERLÄNGERTE LAKTATION, KEIN KLIMASTRESS

Damit eine Kuh Milch produzieren kann, muss sie ein Kalb zur Welt bringen. Etwa 40 bis 50 Wochen (im Durchschnitt) nach der Geburt eines Kalbes produziert die Kuh keine Milch mehr und der/die Milchviehhalter:in verdient kein Geld mehr. Tierschutzorganisationen und manche Landwirt:innen empfehlen, den Kühen zwischen den Geburten mehr Erholungszeit zu geben (**dies wird als „verlängerte Laktation“ bezeichnet**).



ÖKOLOGISCHE LANDWIRTSCHAFT, KEIN KLIMASTRESS



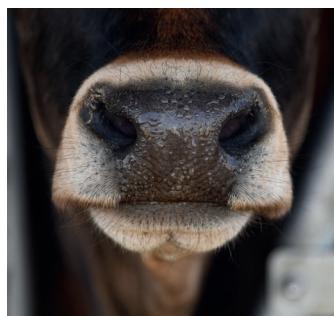
In der **ökologischen Landwirtschaft** werden ausschließlich organische Düngemittel verwendet. Zur Schädlingsbekämpfung kommen häufig biologische Methoden zum Einsatz (z. B. mit Raubinsekten). Beliebt ist auch die Mischkultur (der gleichzeitige Anbau mehrerer Nutzpflanzen auf einer Fläche). Der Einsatz synthetischer Stoffe ist verboten oder streng begrenzt. Die ökologische Landwirtschaft ist nachhaltiger als andere Landwirtschaftspraktiken.

„NACHHALTIGE LANDWIRTSCHAFT“, KEIN KLIMASTRESS

„**Nachhaltige Farmen**“ zeichnen sich durch ein wirtschaftliches, autarkes und autonomes Produktionssystem aus. Die Tiere stehen auf der Weide: Sie verbringen viel Zeit im Freien, ihnen steht mehr Weideland zur Verfügung, das mit weniger Düngemitteln und chemischen Produkten behandelt wird als in der konventionellen Landwirtschaft. Diese Art der Landwirtschaft zielt auf den Schutz und die Förderung der Artenvielfalt ab.



KLIMASTRESS: HOHE TEMPERATUREN, HOHE FEUCHTIGKEIT

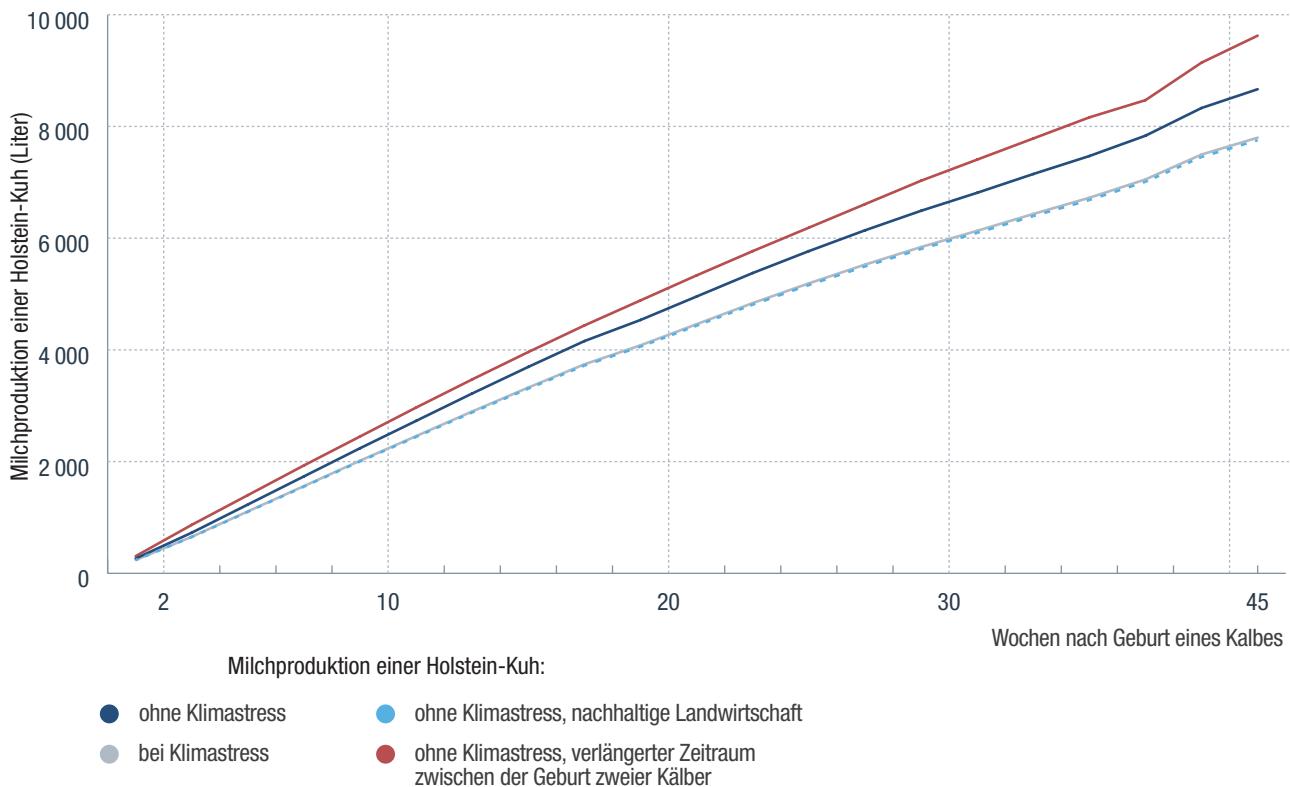


Zu Versuchszwecken kann man die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit im Stall verändern, um bei den Kühen Stress zu erzeugen. Dieser Stress simuliert zum Beispiel eine Hitzewelle. Dadurch kann man sehen, wie sich solch ein Stress auf die landwirtschaftliche Produktion auswirkt.



KURVEN FÜR DIE KUMULIERTE MILCHPRODUKTION NACH GEBURT EINES KALBES

- Aufgabe 1:** Zeichne in Grün die Kurve, die der kumulierten Milchproduktion für „Holstein-Kühe, nachhaltige und ökologische Landwirtschaft, kein Klimastress“ entspricht.
- Aufgabe 2:** Berechne die gesamte Milchproduktion (in Liter) in den 45 Wochen nach Geburt eines Kalbes aus: Es handelt sich hier wieder um einer Projektion der Milchproduktion.
- Aufgabe 3:** Beurteile, welches Szenario das produktivste ist. Bewerte dein eigenes Szenario im Vergleich zu anderen.



Wochen nach Geburt eines Kalbes		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	42	45
Kumulierte Milchproduktion für eine Holstein-Kuh (Liter) – nachhaltige und ökologische Landwirtschaft, kein Klimastress																						
197	539	912	1,285	1,658	2,020	2,383	2,735	3,077	3,357	3,667	3,978	4,268	4,544	4,803	5,041	5,290	5,528	5,797	6,164	6,413		

Quelle der Daten: Brocard et al. (2013): „Conséquences techniques et économiques de l'allongement à 18 mois de l'intervalle entre vêlages chez les vaches laitières, 3R“ [Technische und wirtschaftliche Folgen der Verlängerung der Zeit zwischen der Geburt zweier Kälber auf 18 Monate], (https://uploads-ssl.webflow.com/6135efc5e59d238060fe5710/61c346373c5fcc91cc3898c9_2021_Conduite_TVZ_allongement%20des%20lactations.pdf)

Zusätzliche Daten wurden aus dem Rückgang der Milchproduktion extrapoliert: L'observatoire technico-économique des systèmes bovins laitiers du réseau CIVAM (2019) [Technisch-wirtschaftliche Beobachtungen der Milchkuhsysteme im CIVAM-Netzwerk], „Comparaison des performances des exploitations d'élevage herbivore en Agriculture Durable avec celles du RICA [Vergleich der Leistung von Weideviehbetrieben – nachhaltige Landwirtschaft vs. RICA]“ (<https://www.civam.org/ressources/reseau-civam/agriculture-durable-thematique/observatoire-technico-economique-des-systemes-bovins-laitiers-2021/>)

S. Mattalia et al. (2023), „Quels sont les effets du réchauffement climatique sur les performances des vaches laitières?“ [Welches sind die Effekte der Erderwärmung auf die Leistungsfähigkeit von Milchkühen?], (<https://idele.fr/detail-article/quels-sont-les-effets-du-rechauffement-climatique-sur-les-performances-des-vaches-laitieres>)



Eine Holstein-Kuh

ARBEITSBLATT 7.4

FORTGESCHRITTENE



KUMULIERTE MILCHPRODUKTION ALS FUNKTION VERSCHIEDENER PARAMETER

- Aufgabe 1:** Lade die Tabelle herunter und berechne die kumulierte Milchproduktion seit der Geburt des Kalbes. Trage diese Werte in eine neue Tabelle ein.
- Aufgabe 2:** Zeichne für jedes Szenario die entsprechende Kurve. Gib deiner Grafik einen Titel und bestimme für jedes Szenario die Milchproduktionsprognose für die 45. Woche.
- Aufgabe 3:** Definiere, was eine „Milchproduktionsprognose“ ist.
- Aufgabe 4:** Bewerte das Szenario mit der höchsten Produktivität (das mit dem größten prognostizierten Wert). Beurteile dein eigenes Szenario im Vergleich zu den anderen.

Von einer Holstein-Kuh in einem Zeitraum von zwei Wochen abgegebene Milchmenge (Liter)

Wochen nach Geburt eines Kalbes																				
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	42	45
Milchproduktion																				
378	350	504	504	504	490	490	476	462	378	420	420	392	372	350	322	336	322	364	496	336
Milchproduktion bei verlängertem Zeitraum zwischen der Geburt zweier Kälber																				
378	490	532	532	518	518	504	490	476	448	448	434	420	420	420	378	378	378	308	672	483
Milchproduktion bei Klimastress																				
340	315	454	454	454	441	441	428	416	340	378	378	353	335	315	290	302	290	328	446	302
Milchproduktion bei nachhaltiger Landwirtschaft																				
338	313	451	451	451	438	438	426	413	338	376	376	351	333	313	288	301	288	326	444	301
Milchproduktion bei nachhaltiger und ökologischer Landwirtschaft																				
280	259	373	373	373	363	363	352	342	280	311	311	290	275	259	238	249	238	269	367	249

Quelle der Daten: Brocard et al. (2013): „Conséquences techniques et économiques de l'allongement à 18 mois de l'intervalle entre vêlages chez les vaches laitières, 3R“ [Technische und wirtschaftliche Folgen der Verlängerung der Zeit zwischen der Geburt zweier Kälber auf 18 Monate], (https://uploads-ssl.webflow.com/6135efc5e59d238060fe5710/61c346373c5fcc91cc3898c9_2021_Conduite_TVZ_allongement%20des%20lactations.pdf)

Zusätzliche Daten wurden aus dem Rückgang der Milchproduktion extrapoliert: L'observatoire technico-économique des systèmes bovins laitiers du réseau CIVAM (2019) [Technisch-wirtschaftliche Beobachtungen der Milchkuhsysteme im CIVAM-Netzwerk], „Comparaison des performances des exploitations d'élevage herbivore en Agriculture Durable avec celles du RICA [Vergleich der Leistung von Weideviehbetrieben – nachhaltige Landwirtschaft vs. RICA]“ (<https://www.civam.org/ressources/reseau-civam/agriculture-durable-thematique/observatoire-technico-economique-des-systemes-bovins-laitiers-2021/>)

S. Mattalia et al. (2023), „Quels sont les effets du réchauffement climatique sur les performances des vaches laitières?“ [Welches sind die Effekte der Erderwärmung auf die Leistungsfähigkeit von Milchkühen?], (<https://idele.fr/detail-article/quels-sont-les-effets-du-rechauffement-climatique-sur-les-performances-des-vaches-laitieres>)



Eine Kuh mit ihrem Kalb

UNTERRICHTsstunde 8 STÄDTISCHE WÄRMEINSELN

HAUPTFÄCHER	DAUER	ALTER	UNTERRICHTSMETHODE
Physik Naturwissenschaften Geografie	Vorbereitung: 10 Minuten Aktivität: 3 Stunden (2 x 1 Stunde 30 Minuten) Zusammenfassung: 20 Min.	> 15 Jahre	Dokumentenanalyse Multimedia-Animation
LERNZIELE			NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ
Mithilfe einer Multimedia-Animation verstehen die Schüler:innen, was städtische Wärmeinseln sind. Sie unterscheiden Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen sowie deren Nachteile und Vorteile im Hinblick auf die UN-Nachhaltigkeitsziele.			Bereich 2 – Komplexität der Nachhaltigkeit Kompetenz 2.1 – Systemorientiertes Denken
KONZEpte			
Städtische Wärmeinsel (urbane Hitzeinseln), Anpassung, Klimaschutz, Nachhaltigkeitsziele, gesellschaftliche Entscheidungen, Klimaprojektion, Abkühlungslösungen, Fehlanpassung			

VORBEREITUNG 10 MINUTEN

Diese Unterrichtsstunde ist in **zwei anderthalbstündige Aktivitäten** aufgeteilt. Beide sind miteinander verknüpft, aber Sie können mit Ihren Schüler:innen auch nur eine der beiden durchnehmen.

Die erste Aktivität zielt darauf ab, die Bedeutung von Modellen zu untersuchen, wenn es darum geht, die Entwicklung des Klimas auf globaler Ebene zwischen 2020 und dem Ende des Jahrhunderts vorherzusagen und Klimaschutzmaßnahmen umzusetzen.

Die zweite Aktivität befasst sich mit Städten, die im Jahr 2020 unter dem städtischen Wärmeinsel-Effekt leiden. Es werden verschiedene Anpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen, die diesen Effekt im Jahr 2020 – und möglichst auch noch im Jahr 2100 – begrenzen könnten.

Material für beide Aktivitäten: ein Computer und eine Internetverbindung oder die [Multimedia-Animation zu städtischen Wärmeinseln](#), ein Beamer.

EINLEITUNG

In der Unterrichtseinheit A haben die Schüler:innen gesehen, dass der Mensch seit der industriellen Revolution große Mengen an Treibhausgasen in die Atmosphäre emittiert und dadurch den derzeitigen Klimawandel verursacht.

Die wichtigsten Lernziele dieser Unterrichtsstunde:

- Ohne Klimaschutzmaßnahmen wird die globale Temperatur auf der Erde weiter über die im Pariser Abkommen festgelegte Obergrenze ansteigen.
- Der städtische Wärmeinsel-Effekt beschreibt die Tatsache, dass die Temperatur in Städten höher ist als im Umland.
- Durch die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen kann der Wärmeinsel-Effekt verringert werden. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Bekämpfung des Wärmeinsel-Effekts kann auch dazu beitragen, die weitere Erderwärmung zu begrenzen – das nennt man Synergien.
- Einige Maßnahmen, die heute wirksam sind, können sich in Zukunft als weniger oder gar nicht wirksam erweisen – das nennt man Fehlanpassungen.
- Einige der Lösungen zur Bekämpfung des Wärmeinsel-Effekts stehen im Einklang mit der Erreichung mehrerer UN-Nachhaltigkeitsziele.

AKTIVITÄT 1 1 STUNDE 30 MINUTEN

TEIL 1: ERSTE SCHRITTE MIT DER ANIMATION 25 MINUTEN

1. Die Schüler:innen machen sich selbstständig mit der Multimedia-Animation vertraut. Sie sollen über die Ziele der Animation nachdenken.
2. Fassen Sie kurz gemeinsam zusammen, was die Schüler:innen gemacht haben.

TEIL 2: BEGRENZUNG DER ERDERWÄRMUNG AUF 1,5°C

55 MINUTEN

3. In Zweier- oder Dreiergruppen versuchen die Schüler:innen, den Temperaturanstieg im Jahr 2100 auf +1,5°C gegenüber 1850-1900 zu begrenzen (Ziel des Pariser Abkommens). Sie recherchieren die Bedeutung des Logos neben dem Thermometer. Verändert sich dessen Farbe, wenn sie in der Animation bestimmte Maßnahmen umsetzen? *Neben dem Thermometer ist das Logo der COP21 abgebildet: Es ist grün, wenn das Ziel erreicht wird, und rot, wenn es verfehlt wird.*



4. Diskussion: Jede Gruppe stellt ihre Maßnahme(n) vor. Die Klasse diskutiert deren Durchführbarkeit in Bezug auf Kosten, kulturelle und ethische Folgen sowie den Umfang der Maßnahmen (sind es Maßnahmen auf individueller oder gesellschaftlicher Ebene, auf lokaler oder internationaler Ebene usw.?).

TEIL 3: SCHLUSSFOLGERUNG 10 MINUTEN

5. Fragen Sie die Schüler:innen, was Klimaschutz bedeutet und warum er wichtig ist.

6. Ist es möglich, das Ziel des Pariser Abkommens zu erreichen, wenn man nur in einem Sektor Anstrengungen unternimmt? Tatsächlich ist die Transformation aller Bereiche unserer Gesellschaft erforderlich („systemische Transformation“).

7. **Optional:** Teilen Sie die Klasse in zwei Gruppen auf, von denen die eine die beste Kombination von Maßnahmen finden muss, um den geringsten Temperaturanstieg bis 2100 zu erreichen, und die andere die „beste“ Kombination, um den höchsten Temperaturanstieg bis 2100 zu erreichen.

AKTIVITÄT 2 1 STUNDE 30 MINUTEN

Drucken Sie die ARBEITSBLÄTTER 8.1 und 8.2 aus – ein Exemplar pro Zweiergruppe.

TEIL 1: LÖSUNGEN ZUR BEKÄMPFUNG DES WÄRMEINSEL-EFFEKTES IM JAHR 2020 45 MINUTEN

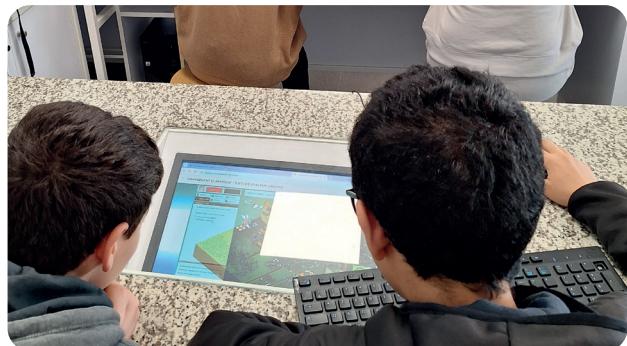
1. Kurzes Brainstorming mit der gesamten Klasse:
1) **Was ist der Wärmeinsel-Effekt?** 2) Wie können wir diese höheren Temperaturen in Städten erklären? Die Schüler:innen stellen Hypothesen zur Beantwortung dieser zweiten Frage auf.

2. Jede Gruppe wählt eine Stadt (entweder alle dieselbe oder jeweils eine andere). Sie klicken auf die verschiedenen Optionen und schauen sich an, was sich in der Stadt verändert und wie die Temperatur steigt oder sinkt.

Die Schüler:innen klicken zunächst auf das Jahr 2020. Sie werden feststellen: Die Temperatur in der Stadt ist höher als im Umland.

- Sie konzentrieren sich auf eine oder zwei Städte.
- Für jede Stadt sollten sie verschiedene Maßnahmen in verschiedenen Sektoren (Bauen & Wohnen, Landwirtschaft, Mobilität, Energie, Stadtplanung und Natur) durchprobieren. Haben diese Maßnahmen dazu geführt, den Wärmeinsel-Effekt abzumildern – das heißt die Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland zu verringern?
- Jede Gruppe stellt der Klasse den lokalen Kontext vor (wo liegt die Stadt, was für ein Klima herrscht dort?) und anschließend die von ihnen gewählten Maßnahmen zur Verringerung des Wärmeinsel-Effekts (es ist auch interessant zu beobachten, welche Maßnahmen keine Wirkung zeigen).

Die Klasse kommt zu dem Schluss, dass es mit manchen Maßnahmen möglich ist, den Wärmeinsel-Effekt (im Jahr 2020) abzuschwächen.



Schüler erkunden die Multimedia-Animation.

3. Die Gruppen füllen die Tabelle in ARBEITSBLATT 8.1 aus und bewerten die Durchführbarkeit der Maßnahmen (wirtschaftlich, kulturell, technisch). Sie sollten im Auge behalten, wie die Maßnahmen mit den UN-Nachhaltigkeitszielen zusammenhängen (siehe <https://unric.org/de/17ziele> oder das ARBEITSBLATT 8.2).

TEIL 2: LÖSUNGEN ZUR BEKÄMPFUNG DES WÄRMEINSEL-EFFEKTES IM JAHR 2100 45 MINUTEN

Nun geht es darum, die Temperaturänderung und den Wärmeinsel-Effekt im Jahr 2100 zu betrachten.

1. Die Schüler:innen erkunden, wie sich die Temperaturen in der Stadt und auf dem Land bis 2100 entwickeln, wenn „ihre“ 2020 beschlossenen Maßnahmen durchgeführt werden (Ist die Temperatur angestiegen und hat sich der Wärmeinsel-Effekt verstärkt? Ist die Temperatur angestiegen und hat sich der Wärmeinsel-Effekt abgeschwächt? usw.).

2. Die Schüler:innen setzen die Animation zurück (runder Pfeil), klicken auf „2100“ und schauen erneut auf „ihre“ Stadt. In vielen Fällen werden sie feststellen, dass die Temperatur – aufgrund der Erderwärmung – sowohl im Umland als auch in der Stadt zwischen 2020 und 2100 angestiegen ist. Das heißt, selbst wenn der Wärmeinsel-Effekt nicht zunimmt, erwärmen sich die Städte aufgrund des Klimawandels.

3. Die Schüler:innen wenden alle Maßnahmen an, die sie für 2020 ausgewählt hatten. Sie werden feststellen, dass sich der Wärmeinsel-Effekt abgeschwächt hat. Es kann nun aber passieren, dass sich der Wärmeinsel-Effekt durch eine bestimmte Maßnahme weniger abgeschwächt hat als im Jahr 2020, und/oder dass sich abkühlende Maßnahmen auch auf die Temperatur im Umland auswirken.

4. Die Schüler:innen sollen herausfinden, welche Abkühlungsmaßnahmen sich positiv auf den Klimawandel auswirken und gleichzeitig die Temperatur in der Stadt absenken. Es gibt Synergien (wie kann man „zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen“?).

VOR DEM ANLEGEN EINES NICHT BEWÄSSERTEN GRÜNDACHS	NACH DEM ANLEGEN EINES NICHT BEWÄSSERTEN GRÜNDACHS	AUSWIRKUNGEN AUF DEN WÄRMEINSEL-EFFEKT
TEMPERATURDIFFERENZ ZWISCHEN STADT UND LAND IM JAHR 2020 (°C)	+2,84	+2,32 ++
TEMPERATURDIFFE-RENZ ZWISCHEN STADT UND LAND IM JAHR 2100 (°C)	+2,94	+2,89 +/-

Nicht bewässerte Gründächer tragen zur Verringerung des Wärmeinsel-Effekts bei. Die Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Land ist jedoch im Jahr 2100 kaum niedriger als vor der Implementierung der Dachbegrünung. Dies ist ein gutes Beispiel für eine **Fehlanpassung** (d. h. eine kurzfristig positive Maßnahme, die mit der Zeit an Wirksamkeit verlieren).

7. Die Umsetzung der meisten Maßnahmen trägt auch zur Erreichung der UN-Nachhaltigkeitsziele bei. Die Schüler:innen füllen die folgende Tabelle aus.

5. Die Schüler:innen sollen **Verbindungen zwischen den von ihnen gewählten Maßnahmen und den UN-Nachhaltigkeitszielen herstellen**. Am Beispiel der „nicht bewässerten Gründächer“ in Moradabad in Indien (auf „Gebäude > Dächer“ klicken) kann man sehen, dass eine Abkühlungsmaßnahme, die 2020 zur Verringerung des Wärmeinsel-Effekts führte, im Jahr 2100 nicht mehr wirksam ist und den Wärmeinsel-Effekt sogar verstärkt.

6. Bitten Sie die Schüler:innen, gemeinsam die folgende Tabelle auszufüllen:

→ TIPP FÜR LEHRENDE (zu Punkt 6)

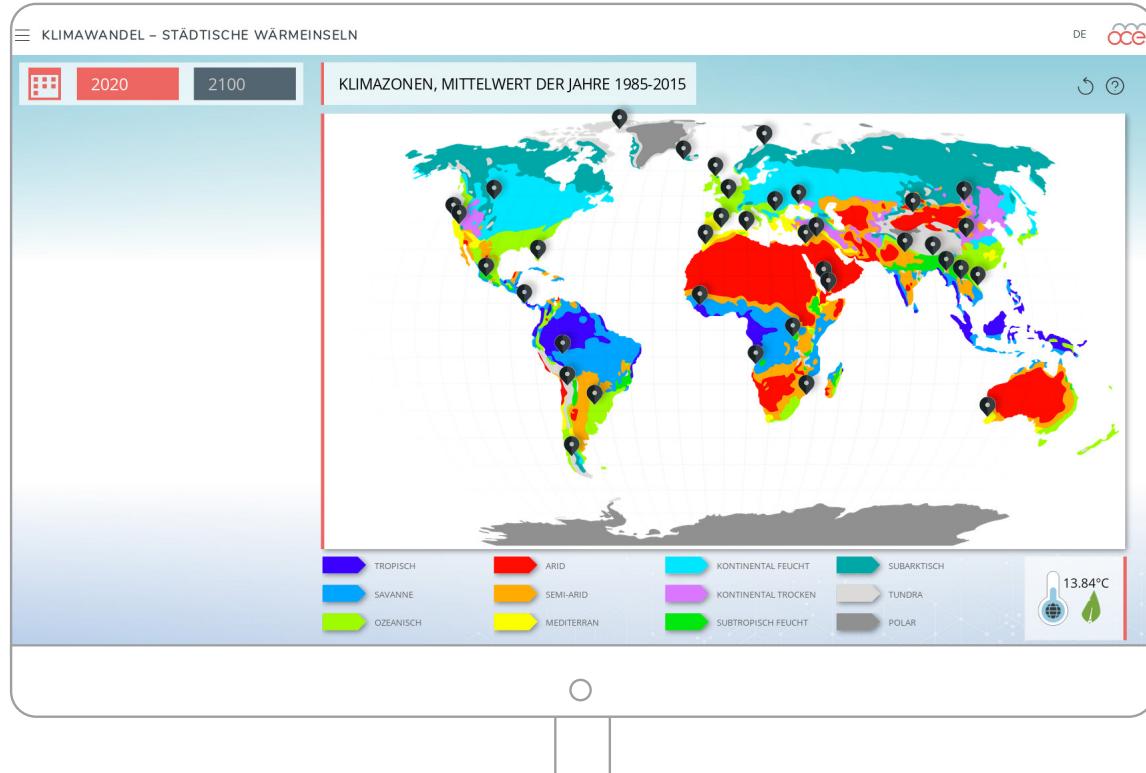
Diese Fehlanpassung röhrt daher, dass der Klimawandel das lokale Klima im indischen Moradabad – monsunbeeinflusstes feucht subtropisches Klima – mit großer Wahrscheinlichkeit in ein semi-arides Klima verwandeln wird. Die kühlende Wirkung der Gründächer kommt von der Evapotranspiration der Pflanzen, die jedoch bei Pflanzen, die an ein trockenes Klima angepasst sind, sehr gering ist. Wird das Gründach nicht bewässert, wird es bis 2100 kahl sein. Damit diese Lösung wirksam ist, müsste man die Gründächer in einem halbtrockenen Klima bewässern. Der Einbau eines Bewässerungssystems ist aber kostspielig und erscheint 2020 in einem feuchten Klima überflüssig. Deshalb sind begrünte und trockene Dächer in Indien nur eine kurzfristige Lösung, die mit der Zeit ihre Wirksamkeit verliert. Dies wird als Fehlanpassung bezeichnet.

Die folgende Tabelle ist nur ein Beispiel dafür, wie die Schüler:innen sie ausfüllen können.

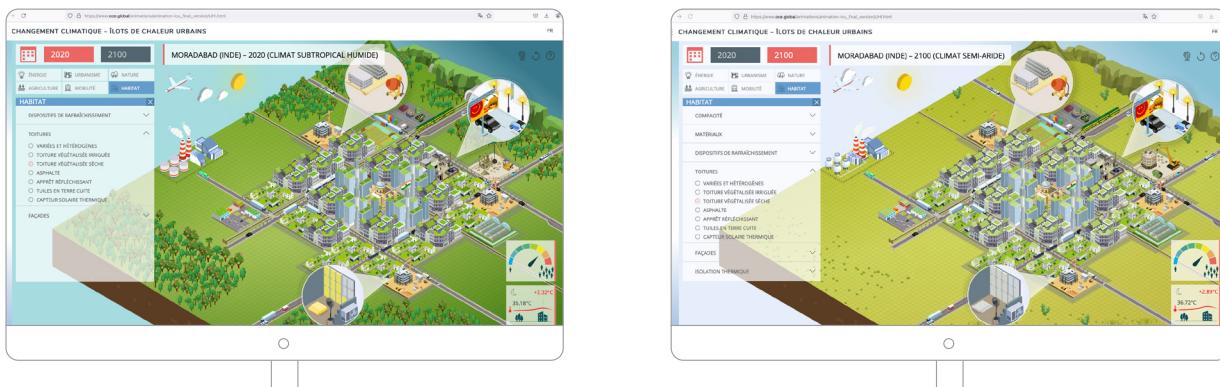
MASSNAHME Thermische Solarkollektoren auf den Dächern

MASSSTAB DER MASSNAHME	<input checked="" type="checkbox"/> Individuell <input type="checkbox"/> Auf Ebene der Stadt/des Landes	SYNERGIEN ZWISCHEN ANPASSUNG UND SCHUTZ VOR WÄRMEINSEL-EFFEKT	
BEGRENZT	IN 2020 <input checked="" type="checkbox"/> den Wärmeinsel-Effekt (Anpassung)	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	
	BIS 2100 SUR <input checked="" type="checkbox"/> den Wärmeinsel-Effekt (Anpassung) <input checked="" type="checkbox"/> die Erderwärmung (Klimaschutz)	<input type="checkbox"/> Nein	
DIE DURCH DIESE MASSNAHME ERREICHEN UN-NACHHALTIGKEITSZIELE			
ZIEL NR.: 7 	ZIEL NR.: 11 	ZIEL NR.: _____ TITEL: _____	SYNERGIEN ZWISCHEN MASSNAHME UND NACHHALTIGKEITSZIELEN
TITEL: Bezahlbare und saubere Energie	TITEL: Nachhaltige Städte und Gemeinden	ZIEL NR.: _____ TITEL: _____	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein

BILDSCHIRMFOTOS DER MULTIMEDIA-ANIMATION ZU STÄDTISCHEN WÄRMEINSELN



Hier ist die Weltklimakarte für das Jahr 2100 und die globale Durchschnittstemperatur ($13,84^{\circ}\text{C}$) zu sehen. Es wurde eine Reihe von Klimaschutzmaßnahmen durchgeführt (u. a. für die Begrenzung der Lebensmittelverschwendungen und -verluste). Die Klimaprojektion zeigt: Es ist den Schüler:innen gelungen, die globale Erwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts auf deutlich unter $+1,5^{\circ}\text{C}$ zu begrenzen (das Pariser Abkommen wurde erreicht: Das Logo ist grün).



Moradabad im Jahr 2020. Die Schüler:innen haben sich entschieden, die Dächer zu bepflanzen, um den städtischen Wärmeinsel-Effekt zu bekämpfen (Anpassungslösung: „Nicht bewässerte Gründächer“).

Moradabad im Jahr 2100. Werden Gründächer nicht bewässert, ist diese Maßnahme weitaus weniger wirksam, um den Wärmeinsel-Effekt zu bekämpfen.

ZUSAMMENFASSUNG 20 MINUTEN

Um diese Aktivität abzuschließen, können die Schüler:innen den Teil „Schlussfolgerung“ der Animation aufrufen, indem sie auf das „Papierblatt“-Symbol in der oberen rechten Ecke des Bildschirms klicken (es erscheint nach dem zweiten Besuch der Weltkarte). Es zeigt ihnen, was sie gelernt haben (sollten):

- 1) Mit einigen Maßnahmen kann man die Erderwärmung begrenzen. Dazu sind **größere Anstrengungen in allen Sektoren und auf allen Ebenen** erforderlich (individuell/Stadt/Land), aber wir können es noch schaffen, das Ziel des Pariser Abkommens einzuhalten.

- 2) Auf lokaler Ebene können 2020 **Abkühlungsmaßnahmen umgesetzt werden**, um den Wärmeinsel-Effekt kurzfristig zu verringern. Eine sorgfältige Auswahl der Maßnahmen und ein Blick auf die vorhergesagte Wirksamkeit in der Zukunft helfen dabei, Fehlanpassungen zu vermeiden. Einige dieser Maßnahmen können dazu beitragen, auch die Erderwärmung bis 2100 zu verringern: Das wird als „Synergie“ bezeichnet.

HINTERGRUNDINFORMATIONEN FÜR LEHRENDE

Die Lernziele dieser Unterrichtsstunde beinhalten verschiedene wissenschaftliche Begriffe:

Ohne **Klimaschutzmaßnahmen** wird die globale Temperatur auf der Erde weiter über den im Pariser Abkommen von 2015 festgelegten Grenzwert hinaus ansteigen.

Auf der COP21 in 2015 einigten sich 195 Länder darauf, die Erderwärmung auf unter +1,5 °C zu begrenzen. Die einzige Möglichkeit, unter diesem Grenzwert zu bleiben, besteht darin, unsere Treibhausgasemissionen zu verringern und bis 2050 Netto-null-Emissionen zu erreichen.

Der **städtische Wärmeinsel-Effekt entspricht einer positiven Temperaturdifferenz** zwischen Stadt und Umland.

Die Erderwärmung ist nicht überall auf der Welt gleich. Die Erwärmung ist zum Beispiel über Land stärker als über dem Ozean (das liegt an der thermischen Trägheit des Wassers). Sie hängt auch von den jeweiligen Klimazonen ab (kontinentales Klima, ozeanisches Klima, Gebirgsklima usw.), und schließlich auch vom Grad der Verstädterung – der wiederum zu einem unterschiedlich starken Wärmeinsel-Effekt führen kann.

Von Wärmeinsel-Effekt spricht man, wenn die Temperatur in der Stadt höher ist als im Umland. Er entsteht vor allem aufgrund der größeren Bevölkerungsdichte (mehr Menschen bedeutet größere Wärmeproduktion aufgrund menschlicher Aktivitäten) und der bebauten und versiegelten Flächen (Rückgang der Vegetationsdecke). Der Wärmeinsel-Effekt ist unabhängig von der Erderwärmung. Er wurde erstmals 1820 von Luke Howard in London entdeckt. Auch wenn kein direkter Zusammenhang besteht, führt die Erderwärmung dazu, dass die Temperatur in der Stadt – die durch den Wärmeinsel-Effekt eh schon erhöht ist – noch höher ist. Da sich die Stadtbevölkerung bis zum Ende des Jahrhunderts voraussichtlich verdop-peln wird, müssen Abkühlungsmaßnahmen umgesetzt werden, die den Wärmeinsel-Effekt abschwächen. Wegen der komplexen Anordnung der Städte – sowohl im kleinen als auch im mittleren und großen Maßstab – muss jedoch anhand von Modellen die Wirksamkeit der Maßnahmen vorhergesagt werden.

WEITERFÜHRENDE AKTIVITÄT (OPTIONAL)

In der Animation sind die Klimazonen der Erde heute und – für verschiedene Zukunftsszenarien – im Jahr 2100 dargestellt.

Die Schüler:innen können untersuchen, wie sich die Veränderungen der Klimazonen auf verschiedene Ökosysteme auswirken. Dazu gibt es im vom OCE herausgegebenen Lehrerhandbuch „Das Klima in unseren Händen – Klimawandel und Landsysteme“ Anregungen (siehe die Unterrichtsstunden C2 oder C4).

Die sofortige Umsetzung von **Anpassungsmaßnahmen kann den Wärmeinsel-Effekt verringern**.

Anpassungsmaßnahmen zielen darauf ab, die Auswirkungen des Wärmeinsel-Effekts auf die Bevölkerung in der Stadt zu verringern und die Städte zu kühlen, indem die Wärmeabgabe und/oder -aufnahme verringert wird (z. B. durch das Anpflanzen von Bäumen, Dachbegrünung, klimatisierte Rückzugsorte, die Umstellung auf elektrisch betriebene Verkehrsmittel, eine veränderte Bebauung, mehr Vegetation usw.). Lokale und kurzfristige Anpassungsmaßnahmen zur Abschwächung des Wärmeinsel-Effekts in der Stadt können zu einem moderateren langfristigen Temperaturanstieg im Umland führen. Diese Anpassungsmaßnahmen sind also gleichzeitig Klimaschutzmaßnahmen – eine Synergie zwischen Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen.

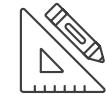
Einige Maßnahmen, die heute wirksam sind, können sich in Zukunft als weniger oder gar nicht mehr wirksam erweisen – man spricht dann von **Fehlanpassung**.

Wie sinnvoll die Begrünung künstlicher Flächen und/oder die Anpflanzung von Bäumen sind, hängt im Allgemeinen stark vom lokalen Klima ab. Nicht alle Baumarten werden die künftigen Umweltbedingungen überleben, wenn der Klimawandel das lokale Klima zu sehr verändert. Daher sollten alle Abkühlungsmaßnahmen nicht nur hinsichtlich ihrer jetzigen Wirksamkeit, sondern auch im Hinblick auf ihre Wirksamkeit in einem zukünftigen Klima bewertet werden.

Manche Maßnahmen zur Bekämpfung des Wärmeinsel-Effekts begünstigen die Erreichung der UN-Nachhaltigkeitsziele.

2015 verabschiedeten die Mitglieder der Vereinten Nationen 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung: Im Rahmen einer weltweiten Partnerschaft sollten Maßnahmen ergriffen werden u. a. zur Beendigung der Armut, zur Verbesserung von Gesundheit und Bildung oder zur Verringerung der Ungleichheit sowie gleichzeitig zum Schutz des Klimas. Einige Maßnahmen zur Verringerung des Wärmeinsel-Effekts sind mit der Erreichung einiger Nachhaltigkeitsziele kompatibel: Zum Beispiel steht eine vegetarische Ernährung im Einklang mit dem Ziel 2 (Kein Hunger) und dem Ziel 3 (Gesundheit und Wohlergehen); der Ausbau des öffentlichen Verkehrs steht im Einklang mit dem Ziel 10 (Weniger Ungleichheiten) und dem Ziel 11 (Nachhaltige Städte und Gemeinden).

Die Schüler:innen sollen die verschiedenen Klimata mit einheimischen Pflanzen- und Tierarten verknüpfen, sowie mit der Lebensweise der einheimischen Bevölkerung. Sie sollen darüber nachdenken, wie sich die Veränderungen des Klimas bzw. die verschiedenen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen langfristig auf die Ökosysteme und die Bevölkerung auswirken.



ARBEITSBLATT 8.1

EIN Szenario für meine eigene Stadt

→ Tragt in die Tabelle die verschiedenen Maßnahmen ein, die ihr in „eurer“ Stadt bzw. „euren“ Städten umgesetzt habt, um den städtischen Wärmeinsel-Effekt und/oder die globale Erwärmung bis 2100 zu verringern. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Bekämpfung des Wärmeinsel-Effekts kann auch den Temperaturanstieg bis zum Ende des Jahrhunderts begrenzen – das nennt man Synergien („zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen“). Kreuzt das Kästchen „Synergien“ an, wenn dies der Fall ist. Notiert anschließend, welche UN-Nachhaltigkeitsziele durch die Umsetzung der jeweiligen Maßnahme erreicht werden.

MASSNAHME

MASSTAB DER MASSNAHME	<input type="checkbox"/> Individuell <input type="checkbox"/> Auf Ebene der Stadt/des Landes	SYNERGIEN ZWISCHEN ANPASSUNG UND SCHUTZ VOR WÄRMEINSEL-EFFEKT
BEGRENZT	IN 2020 <input type="checkbox"/> den Wärmeinsel-Effekt (Anpassung)	<input type="checkbox"/> Ja
	BIS 2100 <input type="checkbox"/> den Wärmeinsel-Effekt (Anpassung) <input type="checkbox"/> die Erderwärmung (Klimaschutz)	<input type="checkbox"/> Nein

DIE DURCH DIESE MASSNAHME ERREICHENEN UN-NACHHALTIGKEITSZIELE

ZIEL NR.: TITEL:	ZIEL NR.: TITEL:	ZIEL NR.: TITEL:	SYNERGIEN ZWISCHEN MASSNAHME UND NACHHALTIGKEITSZIELEN
			<input type="checkbox"/> Ja
			<input type="checkbox"/> Nein
ZIEL NR.: TITEL:	ZIEL NR.: TITEL:	ZIEL NR.: TITEL:	SYNERGIEN ZWISCHEN MASSNAHME UND NACHHALTIGKEITSZIELEN
			<input type="checkbox"/> Ja
			<input type="checkbox"/> Nein

MASSNAHME

MASSTAB DER MASSNAHME	<input type="checkbox"/> Individuell <input type="checkbox"/> Auf Ebene der Stadt/des Landes	SYNERGIEN ZWISCHEN ANPASSUNG UND SCHUTZ VOR WÄRMEINSEL-EFFEKT
BEGRENZT	IN 2020 <input type="checkbox"/> den Wärmeinsel-Effekt (Anpassung)	<input type="checkbox"/> Ja
	BIS 2100 <input type="checkbox"/> den Wärmeinsel-Effekt (Anpassung) <input type="checkbox"/> die Erderwärmung (Klimaschutz)	<input type="checkbox"/> Nein

DIE DURCH DIESE MASSNAHME ERREICHENEN UN-NACHHALTIGKEITSZIELE

ZIEL NR.: TITEL:	ZIEL NR.: TITEL:	ZIEL NR.: TITEL:	SYNERGIEN ZWISCHEN MASSNAHME UND NACHHALTIGKEITSZIELEN
			<input type="checkbox"/> Ja
			<input type="checkbox"/> Nein
ZIEL NR.: TITEL:	ZIEL NR.: TITEL:	ZIEL NR.: TITEL:	SYNERGIEN ZWISCHEN MASSNAHME UND NACHHALTIGKEITSZIELEN
			<input type="checkbox"/> Ja
			<input type="checkbox"/> Nein

ARBEITSBLATT 8.2



DIE 17 UN-NACHHALTIGKEITSZIELE



Der Kampf gegen den Klimawandel ist ein Aspekt der nachhaltigen Entwicklung.

Im Jahr 2015 verabschiedeten die 193 Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Sie legten Ziele zur Bewältigung weltweiter gesellschaftlicher Herausforderungen fest.

Die 17 UN-Nachhaltigkeitsziele sollen eine ökologische und inklusive Transformation sicherstellen, bei der unter anderem Armut und Ungleichheiten beseitigt werden. Der Kampf gegen den Klimawandel ist speziell im Nachhaltigkeitsziel 13 enthalten. Auch die anderen Nachhaltigkeitsziele fördern die Umsetzung von Maßnahmen, die zum Klimaschutz beitragen und unsere Gesellschaft transformieren.

1 KEINE ARMUT <p>Armut in all ihren Formen und überall beenden</p>	2 KEIN HUNGER <p>Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern</p>	3 GESUNDHEIT UND WOHLERGEHEN <p>Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern</p>
4 HOCHWERTIGE BILDUNG <p>Inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten des lebenslangen Lernens für alle fördern</p>	5 GESCHLECHTER-GLEICHSTELLUNG <p>Geschlechtergleichstellung erreichen und alle Frauen und Mädchen zur Selbstbestimmung befähigen</p>	6 SAUBERES WASSER UND SANITÄRVERSORGUNG <p>Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten</p>
7 BEZAHLBARE UND SAUBERE ENERGIE <p>Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern</p>	8 MENSCHENWÜRDIGE ARBEIT UND WIRTSCHAFTSWACHSTUM <p>Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern</p>	9 INDUSTRIE, INNOVATION UND INFRASTRUKTUR <p>Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen</p>
10 WENIGER UNGELEICHHEITEN <p>Ungleichheit in und zwischen Ländern verringern</p>	11 NACHHALTIGE STÄDE UND GEMEINDEN <p>Städte und Gemeinden inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten</p>	12 VERANTWORTUNGSVOLLE KONSUM- UND PRODUKTIONSMUSTER <p>Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen</p>
13 MASSNAHMEN ZUM KLIMASCHUTZ <p>Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen</p>	14 LEBEN UNTER WASSER <p>Ozeane, Meere und Meeressressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen</p>	15 LEBEN AN LAND <p>Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen</p>
16 FRIEDEN, GERECHTIGKEIT UND STARKE INSTITUTIONEN <p>Friedliche und inklusive Gesellschaften für eine nachhaltige Entwicklung fördern, allen Menschen Zugang zur Justiz ermöglichen</p>	17 PARTNERSCHAFTEN ZUR ERREICHUNG DER ZIELE <p>Umsetzungsmittel stärken und die Globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung mit neuem Leben erfüllen</p>	

UNTERRICHTSSTUNDE 9 ZUKUNFTSKOMPETENZEN

HAUPTFÄCHER

Literatur
Kunst
Theater
Naturwissenschaften

DAUER

Vorbereitung : 10 Minuten
Aktivität : 2 Stunden

ALTER

> 15 Jahre

UNTERRICHTSMETHODE

Storytelling,
kreative Aktivität

LERNZIELE

Die Schüler:innen greifen den Szenario-Begriff auf. Sie erfinden Geschichten über mögliche Zukünfte. Sie können ihre Geschichten mit Kunst, einer Ausstellung, einem Roman usw. verknüpfen. Es ist eine gute Gelegenheit, sich selbst in eine positive, unter klimabedingtem Stress stehende Welt zu projizieren.

NACHHALTIGKEITSKOMPETENZ

Bereich 3 – Visionen für eine nachhaltige Zukunft
Kompetenz 3.1 – Zukunftskompetenz

**SCHLÜSSELBEGRIFFE**

Szenario, gesellschaftliche Entscheidungen, Klimaprojektionen, Wärmeinsel-Effekt, Anpassung, Klimaschutz

VORBEREITUNG 10 MINUTEN

- Computer und ein Beamer, um das **ARBEITSBLATT 9.1** zu projizieren.
- Drucken Sie das **ARBEITSBLATT 9.2** aus, ein Exemplar pro Gruppe.
- Stifte, Malfarben, Bleistifte oder ein computergestütztes Malprogramm
- Beziehen Sie sich auf das ausgefüllte **ARBEITSBLATT 8.1** der vorherigen Unterrichtsstunde.

EINLEITUNG 30 MINUTEN

Fragen Sie die Schüler:innen, wie die Temperatur im Jahr 2100 sein wird. Es gibt verschiedene mögliche Prognosen, je nachdem für welches Szenario sich die Gesellschaft entscheidet (Unterrichtsstunde 7). Der aktuelle Pfad ist der folgende: Der Klimawandel führt zu einem Anstieg der globalen Temperatur in den nächsten Jahrzehnten.

Im **ARBEITSBLATT 9.1** ist eine Skizze abgebildet, die das Leben in einer Stadt im Jahr 2042 darstellt. Die Schüler:innen sollen einige der Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen identifizieren.

Sie können sie an die Multimedia-Animation der Unterrichtsstunde 8 erinnern. Erwartete Antworten: „*Wir sehen eine umweltfreundliche Mobilität (keine Autos), viele Bäume, städtische Bauernhöfe usw.*“

Die Schüler:innen sollen Hinweise dafür finden, dass die Bewohner:innen gerade mit einer Hitzewelle zu kämpfen haben. Erwartete Antworten: „*Die Menschen schwitzen, ihre Gesichter sind gerötet*“. Die Schüler:innen sollen sich das Leben dieser vom Klima gestressten Menschen vorstellen.

DURCHFÜHRUNG 1 STUNDE 20 MINUTEN**TEIL 1: INSPIRATION ÜBER EIN KUNSTWERK 40 MINUTEN**

1. Die Schüler:innen lesen die Berichte von Linda, Enrique und Imany (**ARBEITSBLATT 9.2**). Sie ordnen jeden Bericht der entsprechenden Person in **ARBEITSBLATT 9.1** zu.
2. Die Schüler:innen stellen sich eine neue Person vor. Sie beschreiben einen Tag in ihrem Leben, insbesondere wie sie mit ihrer Umgebung und anderen Menschen interagiert. Sie können Merkmale der Person erfinden (Alter, Name). Durch diese Aktivität üben sie ihre Fähigkeiten in Kunst, Schreiben oder darstellendes Spiel. Sie können die folgende Bewertungstabelle verwenden.

TIPP FÜR LEHRENDE**ZUKUNFTSGESCHICHTEN ERZÄHLEN ZUR ÜBERWINDUNG VON ÖKO-ANGST**

Zahlreiche internationale Studien zeigen, dass junge Menschen bereits im Kindergartenalter Öko-Angriff haben. Das hängt zusammen mit den raschen Veränderungen in ihrer Umwelt und den katastrophalen Folgen von Extremereignissen, die oft mit Zukunftssangst verbunden sind. Die Berücksichtigung der Emotionen der Schüler:innen ist entscheidend für eine erfolgreiche Schulbildung. Die Autor:innen empfehlen, dass sich die Lehrenden selbst ihrer eigenen Emotionen in Bezug auf den Klimawandel bewusst werden.¹ Den Schüler:innen sollten sie vermitteln, dass alle Emotionen – ob positiv, negativ oder sogar neutral (Gleichgültigkeit, Müdigkeit, ...) – legitim sind. Kreative Projekte (Kunst, Zukunftsgeschichten erzählen) haben daher einen berechtigten Platz in der Klimawandlung.²

- 1 Quelle: Maria Ojala, Hope and climate change: the importance of hope for environmental engagement among young people, ... (2012) <https://doi.org/10.1080/13504622.2011.637157>
- 2 Quelle: Simon N. Jorgenson, Jennie C. Stephens & Beth White (2019) Environmental education in transition: A critical review of recent research on climate change and energy education, *The Journal of Environmental Education*, 50:3, 160-171, DOI: 10.1080/00958964.2019.1604478

KLIMAWANDEL WIRD BERÜKSICHTIGT **ZUKUNFTSKOMPETENZ** **QUALITÄT UND AUFBAU**

	Die Geschichte spielt nicht in einer Welt, die sich klimawandelbedingt verändert hat.	Die Geschichte ist deprimierend und traurig!	Thema verfehlt
	Einige Elemente deuten auf eine wärmere Welt hin.	Die Personen schaffen es, sich an den Klimawandel anzupassen (z. B. durch Klimaanlagen).	Unvollendete Geschichte, einige Elemente sind in Ordnung.
	Mehrere Elemente deuten auf eine wärmere Welt hin.	Die Personen interagieren miteinander und haben Ideen und Energie, um den Klimawandel zu bekämpfen.	Einfallsreiche, strukturierte Geschichte
	In der Geschichte geht es um eine Welt, die unter klimawandelbedingtem Stress leidet.	Die Einwohner:innen tun sich zusammen, sie sind einfallsreich und haben ihre Stadt so verändert, dass die Folgen des Klimawandels signifikant begrenzt werden.	Sehr gut umgesetzt



Eine Aktivität zur Zukunftscompetenz: Die Schüler:innen stellen sich einen „Urlaub im Jahr 2042“ vor. Wie sieht dieser angesichts des fortschreitenden Klimawandels aus? Zusammenarbeit zwischen OCE und der Hochschule Jacques Prévert für Grafikdesign, Erzählung und Multimedia, Boulogne Billancourt, Frankreich.

TEIL 2 : STORYTELLING: EINE STADT IM JAHR 2100

40 MINUTEN

1. Die Schüler:innen nehmen wieder das **ARBEITSBLATT 8.1** zur Hand und erzählen eine neue Geschichte (vorzugsweise wählen sie ein anderes Medium als im ersten Teil). Diesmal stellen sie sich eine Zukunft im Jahr 2100 für die Stadt vor, die sie in der letzten Unterrichtsstunde untersucht haben:

- ~ Die Schüler:innen arbeiten in Zweiergruppen und schreiben ihre Geschichte auf.
- ~ Sie erzählen die Geschichte eines typischen Tages in ihrer Stadt (wie sie sich fortbewegen, was sie essen, wo sie arbeiten, ihre Verbindung zur Natur).
- ~ Sie überprüfen, ob in ihrer Geschichte UN-Nachhaltigkeitsziele und/oder Synergien vorkommen.

2. Die Schüler:innen werden ermutigt, ihre Geschichten auch außerhalb des Klassenzimmers zu veröffentlichen: Blog, Schulzeitung, Tag der offenen Tür usw.

ZUSAMMENFASSUNG 10 MINUTEN

Die Schüler:innen stellen ihre Werke vor und die Klasse diskutiert über die Relevanz der verschiedenen Maßnahmen. Es können Schwierigkeiten auftauchen bei der Einordnung der Maßnahmen: Einige Maßnahmen gehören in die Kategorie Anpassung an den Klimawandel, tragen aber nicht zum Klimaschutz bei (z. B. Klimaanlagen). Anpassungsmaßnahmen können uns kurzfristig zugutekommen, während Klimaschutzmaßnahmen langfristig wichtig sind. Beide müssen zusammen gedacht werden.

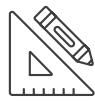
Es gibt Lösungen für die durch den Klimawandel verursachten Probleme. Diese Unterrichtsstunde zeigt, dass sie auf verschiedenen Ebenen umgesetzt werden können (individuell, Familie, Schule, Stadt).

Für die übergeordneten Ebenen (Land, Region, Welt) können Sie sich mit Ihrer Klasse das [CLIM-Video „Die UN-Klimakonferenzen“](#) von Sofia Palazzo (Imperial College London, Großbritannien) anschauen. Darin erklärt sie, dass sich auf den Klimakonferenzen (COP) die verschiedenen Regierungen auf wirksame Klimaschutzmaßnahmen einigen. Viele Menschen, Gemeinschaften und Organisationen auf der ganzen Welt setzen bereits Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen um.



Die Welt verändert sich, aber die Menschheit hat die Fähigkeit und das Potenzial, gesellschaftliche Entscheidungen zu treffen, um sich an diese Veränderungen anzupassen. Sich eine mögliche, positive Zukunft vorzustellen, ist eine Möglichkeit, die eigene Öko-AnGST zu überwinden und die Schüler:innen zu stärken.

ARBEITSBLATT 9.1



MIT DEN FOLGEN DES KLIMAWANDELS LEBEN – IN EINER STADT IM JAHR 2042



Solidarität

Die Zeichnung (eine Risografie) und die Texte des ARBEITSBLATTES 9.2 wurden von den Studentinnen Julia und Alice erstellt, Master für angewandte Kunst, Hochschule Jacques Prévert, Boulogne Billancourt, Frankreich, © OCE.

ARBEITSBLATT 9.2



BERICHTE DREIER EINWOHNER:INNEN DER STADT

Linda

Enrique

Imany

Ich habe vor drei Minuten unsere Wohnung verlassen und radele in den Park, um meine Freunde Akim, Sarah und Lucy zu treffen. Aber gerade hat mir meine Mutter eine Nachricht geschickt: Ich soll ihr in unserem Gewächshaus helfen. Die Zucchini sind reif und müssen geerntet werden. Ich radele schnell zum Gewächshaus – das dauert dank des brandneuen Fahrradweges nur 15 Minuten. Es gibt keine Ampel, die mich ausbremsen könnte. In diesem Jahr habe ich mein Jahresabonnement für den Fahrradverleih gekündigt, weil ich mir auf dem Flohmarkt ein Fahrrad gekauft habe. Es funktioniert wieder tadellos, seitdem ich die Kette gewechselt und die Reifen geflickt habe. Heute werde ich Akim einen gebrauchten Gameboy bringen, den ich in der „Zu verschenken“-Kiste vor der Sporthalle gefunden habe.

Ich bin unterwegs zur gemeinschaftlichen Waschküche in unserem Gebäude. Seitdem ich hier 2035 e gezogen bin, habe ich keine eigene Waschmaschine mehr gehabt. Es geht ganz einfach: Wir zahlen einen kleinen Betrag, um den durch den Waschgang verursachten ökologischen Fußabdruck zu kompensieren. Wir können Zeiten buchen, um zu verhindern, dass wir anstehen müssen. Ich mag es, andere Leute in der Waschküche zu treffen und mit ihnen zu quatschen. Mit meiner Nachbarin Imany habe ich eine spezielle Abmachung: Ich kümmere mich um ihre Wäsche und dafür bekomme ich von ihr herrliche, selbstgezüchtete Toma-ten. Da Trinkwasser immer knapper geworden ist, laufen die Waschmaschinen mit Regenwasser, das in großen Tonnen aufgefangen wird. Und für die Klospülung benutzen wir graues Wasser.

Ich habe gerade in dem vertikalen Garten, der an unsere Wohnung angrenzt, Tomaten gepflückt. Ich werde meinem Freund Enrique ein paar von den schmackhaften gelben Cherrytomaten geben. Dafür kümmert er sich heute um meine Wäsche. Aus meinen reifen Ochsenherztomaten werde ich Ketchup machen. Meine Freundin Linda wird mir dabei helfen. In unserem vertikalen Garten hat jede Partei seinen eigenen Bereich, auf dem sie Obst und Gemüse ziehen kann. Dank des kurzen Weges zwischen Garten und Küche koche ich immer mit frischen Zutaten. Es ist immer sehr nett, beim Arbeiten im Garten die anderen Bewohner zu treffen und mit ihnen ein Schwätzchen zu halten. Oft geben wir uns gegenseitig Tipps, wie wir zum Beispiel die Blattläuse loswerden, oder wir tauschen Obst und Gemüse aus, wenn wir zu viel geerntet haben. Neulich habe ich Radieschen gegen Erdbeeren getauscht.

GLOSSAR

ABKOMMEN VON PARIS

Ein internationales Abkommen zum Klimawandel, das 2015 auf der COP21 in Paris verabschiedet und von 196 Ländern unterzeichnet wurde. Das Hauptziel ist die Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 1,5 °C bis zum Ende des Jahrhunderts.

ABKÜHLUNGSMASSNAHME

Natürliche, technische oder verhaltensbasierte Umgestaltung der Stadt, die auf eine Verringerung des Wärmeinsel-Effekts abzielt.

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. Der Mensch kann in natürliche Systeme eingreifen und auf diese Weise die Anpassung an zu erwartende Auswirkungen des Klimawandels erleichtern.

EXTREME EREIGNISSE

Ungewöhnliche natürliche Ereignisse, die sich negativ auf Mensch und Ökosysteme auswirken: Wirbelstürme, Stürme, Erdbeben, Waldbrände, Dürren und Hitzewellen. Durch den Klimawandel nehmen die Häufigkeit und das Ausmaß einiger extremer Ereignisse weltweit zu (extreme Kältereignisse gehen jedoch zurück).

FEHLANPASSUNG

Lösungen, die heute aufgrund ihrer Wirksamkeit eingeführt werden und sich in Zukunft als weniger oder nicht mehr wirksam erweisen.

GEMEINSAM GENUTZTER

SOZIOÖKONOMISCHER PFAD (SSP)

Szenario der prognostizierten globalen sozioökonomischen Veränderungen, die von gesellschaftlichen Entscheidungen abhängen. Diese Szenarien umfassen alle Arten von Projektionen, von sehr optimistisch (SSP1-1.9: drastische Reduzierung der globalen Treibhausgasemissionen) bis pessimistisch (SSP5-8.5: weiterer Anstieg der Treibhausgasemissionen).

Die SSP werden als Eingabedaten für Klimamodelle verwendet, die wiederum die entsprechenden Klimaveränderungen berechnen. Die SSP wurden im jüngsten IPCC-Bericht (AR6) verwendet.

GESELLSCHAFTLICHE ENTSCHEIDUNGEN

Es gibt verschiedene mögliche Verläufe für die Entwicklung einer Gesellschaft. Diese beruhen u. a. auf demografischen Veränderungen, künftigen Entscheidungen zur Energieversorgung oder der Umsetzung von Umweltschutzmaßnahmen.

GESTÖRTES KLIMA

Seit der industriellen Revolution (1850-1900) hat sich das Klima der Erde aufgrund der menschlichen Aktivitäten rasch verändert.

INPUT EINES MODELLS

Daten, die in ein Modell eingegeben werden.

KLIMA

Ein durchschnittliches Muster von Wetterbedingungen in einer bestimmten Region über einen langen Zeitraum hinweg.

KLIMAPROJEKTION

Simulation eines zukünftigen Klimas, beruhend auf einem bestimmten Szenario.

KLIMASCHUTZ (englisch: mitigation)

Menschliches Eingreifen, um die Erderwärmung einzudämmen. Ziel ist es, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und Treibhausgassenken zu vergrößern.

KLIMASIMULATION

Experimentieren mit einem numerischen Modell.

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 (etwa 1850) eingesetzt hat. Der Klimawandel verursacht die Erderwärmung. Es werden auch die Begriffe „globale Erwärmung“ oder „Erderwärmung“ benutzt.

MODELL

Vereinfachte Darstellung der Realität. Die Verwendung von Modellen bietet viele Vorteile, hat aber auch ihre Grenzen. Sie können nicht die gesamte Komplexität der Realität abbilden. Klimamodelle sind Analogien zur Realität, um Vorhersagen/Projektionen zu machen. Die Klimamodelle werden präziser durch die Einbeziehung weiterer Parameter und die Verbesserung von Computern und Technik. Das führt zu einer höheren Auflösung und Genauigkeit. Es gibt verschiedene Arten von Modellen: ein „analoges Modell“ ist eine vereinfachte Darstellung der Realität mit Hilfe von physischen Objekten, und ein „numerisches Modell“ ist eine vereinfachte Darstellung der Realität mit Hilfe von numerischen Daten (die Genauigkeit und Auflösung bestimmen die Qualität des Modells).

NUMERISCHES MODELL

Vereinfachte Darstellung der Realität, die sich der Mathematik und Informatik bedient.

OUTPUT EINES MODELLS

Daten, die von einem numerischen Modell bei der Durchführung einer Simulation ausgegeben werden.

PALÄOKLIMA

Das Klima vergangener Zeiten.

PARAMETER

Messbare Werte, die zur Charakterisierung eines Systems verwendet werden (z. B. kann die CO₂-Konzentration das System charakterisieren). Klimatolog:innen müssen in der Regel eine Reihe von Parametern gleichzeitig untersuchen.

PROJEKTION

Die Simulation eines bestimmten Szenarios. Klimaprojektionen zeigen mögliche künftige Entwicklungen einer oder mehrerer Größen, die von einem Modell berechnet werden. Sie beruhen auf physikalischen Grundlagen und dienen der Quantifizierung des globalen und regionalen Klimawandels und seiner Auswirkungen auf Phänomene wie den Monsun.

REPRÄSENTATIVER

KONZENTRATIONSFAD (RCP)

„Repräsentative Konzentrationspfade“ wurden zur Bewertung verschiedener Szenarien für Treibhausgasemissionen verwendet. Im Gegensatz zu den SSP-Szenarien werden bei den RCPs jedoch keine soziökonomischen Veränderungen berücksichtigt. Dennoch gibt es Ähnlichkeiten zwischen diesen beiden Typen von Szenarien. RCPs wurden zuletzt im IPCC-Bericht „AR5“ verwendet.

RÜCKKOPPLUNG

Eine Rückkopplungsschleife kann sich positiv oder negativ (Teufelskreis) auswirken: Manche Ereignisse oder Prozesse verstärken (positive Rückkopplung) oder verringern (negative Rückkopplung) eine oder mehrere Ursachen der globalen Erwärmung.

SIMULATION

Ein Durchlauf eines numerischen Modells.

STICHPROBE (SAMPLING)

Reduktion von kontinuierlichen Informationen auf eine endliche Menge von Werten.

SYNERGIEN

Beispiel: Die Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen zur Bekämpfung des Wärmeinsel-Effekts kann auch den globalen Temperaturanstieg bis zum Ende des Jahrhunderts begrenzen.

SZENARIO

Auswahl der Inputs eines Modells nach sozialen/ethischen Gesichtspunkten. Ein Klimaszenario ist eine plausible und oft vereinfachte Darstellung des zukünftigen Klimas. Die IPCC-Szenarien beruhen auf gesellschaftlichen Entscheidungen.

TEMPERATURANOMALIE

Differenz zwischen einer beobachteten oder simulierten Temperatur und einer bestimmten Referenztemperatur.

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 (H_2O), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Ozon (O_3).

UNGESTÖRTES KLIMA

Das Klima in der vorindustriellen Zeit. Das Klima hat über lange Zeiträume stark geschwankt, war aber in den letzten 10 000 Jahren relativ stabil.

UNGEWISSEIT

Wissenschaftliche Daten sind mit Unsicherheiten behaftet. Klimaprojektionen, die mit Hilfe von Modellen erstellt werden, sind daher ebenfalls immer mit Unsicherheiten behaftet. Es gibt zwei Hauptursachen für die Ungewissheit in Bezug auf das Ausmaß des Klimawandels in der Zukunft:

- ~ Klima-Rückkopplungen (Wolken, Kohlenstoffaufnahme, Wärmeaufnahme der Ozeane, Wasserdampf, Meereis usw.);
- ~ Künftige Emissionen (Klimapolitik, Einsatz (neuer) Technologie, Anzahl und Verhalten der Menschen usw.).

UN-NACHHALTIGKEITSZIELE

Eine nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der Gegenwart, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen. Die Nachhaltigkeitsziele verfolgen sektorübergreifend unterschiedliche Ziele.

VALIDIERUNG

Nachweis der Genauigkeit eines Modells.

VERTRAUEN (Vertrauensniveau)

Im IPCC-Bericht bezieht sich das Vertrauensniveau auf den Grad der Gewissheit bzw. Ungewissheit im Zusammenhang mit einer Feststellung oder einem Ergebnis – basierend auf der Art, Menge, Qualität und Konsistenz der Indizien und dem Grad der Übereinstimmung zwischen den Expert:innen. Das Vertrauensniveau wird qualitativ angegeben – die Skala reicht von sehr gering bis sehr hoch; die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten reichen von weniger als 10% bis über 90%.

WÄRMEINSEL-EFFEKT

Ein städtisches Gebiet, in dem die Durchschnittstemperatur höher ist als in seiner ländlichen Umgebung, weil Gebäude und Straßen mehr Wärme aufnehmen und speichern, und durch menschliche Aktivitäten mehr Wärme erzeugt wird.

WECHSELWIRKUNGEN

Die „Hüllen“ der Erde (Atmosphäre, Hydrosphäre usw.) tauschen ständig Materie und Energie aus. Diese Ströme tragen dazu bei, die ungleichmäßig einfallende Sonnenenergie umzuverteilen. Es gibt auch Wechselwirkungen zwischen verschiedenen terrestrischen Umgebungen (das Abschmelzen des antarktischen Eisschildes hat beispielsweise Auswirkungen auf die Ozeane und die europäischen Küsten).

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.

WETTERVORHERSAGE

Vorhersage für das Wetter zu einem bestimmten zukünftigen Zeitpunkt. Im Gegensatz zu Klimaprojektionen, die durchschnittlichen Wetterbedingungen über viel längere Zeiträume berechnen (Jahrzehnte, Jahrhunderte, Jahrtausende). Sowohl Vorhersagen als auch Projektionen verwenden Modelle.

WISSENSCHAFTLICHER KONSENS

Ein wissenschaftlicher Konsens herrscht, wenn sich Wissenschaftler:innen über etwas in hohem Maße einig sind (Übereinstimmung von Indizien, Ergebnissen usw.). Ein wissenschaftlicher Konsens kann auch bezüglich der Unsicherheit eines Ergebnisses/einer Beobachtung herrschen (siehe Seite 31).

ZUVERLÄSSIGKEIT

Nicht alle Informationsquellen sind vertrauenswürdig; sie sollten immer kritisch geprüft werden. Der IPCC bewertet und stellt die neuesten wissenschaftlichen Informationen über den Klimawandel zusammen. Er gibt u. a. an, wie hoch der wissenschaftliche Konsens ist – was ihn zu einer der zuverlässigsten Informationsquellen zum Thema Klimawandel macht.

DANKSAGUNGEN

Dieses Bildungsprojekt ist das Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit zwischen dem Team des Office for Climate Education, dem Team von Météo France (Centre National de Recherches Météorologiques) und vielen Partnern aus den Bereichen Wissenschaft und Bildung, insbesondere denjenigen, die am Projekt „Erdsystemmodell 2025“ beteiligt sind.

Die Autor:innen danken:

Allen Experten, die das OCE unterstützen, die dank ihrer kritischen Anmerkungen und Vorschläge zur Entwicklung der pädagogischen Aktivitäten beigetragen haben: **Nada Caud, Sally Soria-Dengg, Cruz García, Hazel Jeffery, Colin Jones, Valentin Maron, Cliona Murphy, Mariana Rocha, Anwar Bhai Rumjaun , Roland Séférian, Jenny Schlüpmann, Robin Waldman.**

Den Expert:innen, die an der Entwicklung der interaktiven Aktivitäten und Videos mitgewirkt haben, die dieses Handbuch begleiten: **Sofia Palazzo, Roland Séférian, Birgit Hassler, Fiona O'Connor, Joeri Rogelj.**

Lehrer:innen, die uns erlaubt haben, ihre Lehrmaterialien zu nutzen: **Valentin Maron** (Unterrichtsstunde 2), **Amela Majdanac** (Unterrichtsstunde 5), **Laure Siéfert** und ihre Student:innen **Julia** und **Alice** – Master für angewandte Kunst, Hochschule Jacques Prévert, Boulogne Billancourt, Frankreich (Unterrichtsstunde 9).

Lehrer:innen, die die Aktivitäten mit ihrer Klasse ausprobiert haben: **Maxime Cauchois, Zoé Dosière, Hadia El Gharbi, Naceira Ghilaci, Sandrine Gayrard, Olivier Girard, Mylene Gratien, Guillaume Chevallier.**

Der Lehrerin **Imane Sellami**, die die Multimedia-Animation mit ihren Schüler:innen getestet hat.

Den Inspektor:innen, die die Aufforderung zur Einreichung von Projekten zum Testen des Handbuchs an Lehrende verteilt haben: **Christophe Escartin, Sophie Pons.**

Den folgenden Organisationen, die es uns erlaubt haben, Inhalte ihrer Publikationen zu nutzen: CIVAM, EFTS-Labor in Toulouse, Europäische Kommission (Joint Research Center), IPCC, LMD, NASA, NOAA, Our World in Data, SimClimat, UNESCO.

Den Grafikerinnen, die zur Benutzerfreundlichkeit und der ansprechenden Gestaltung dieses Handbuchs beigetragen haben: **Dorothée Adam, Mareva Sacoun.**

Schließlich möchte das OCE den folgenden Organisationen danken, deren wissenschaftliche, betriebliche und finanzielle Unterstützung wesentlich für die Erstellung dieses Handbuchs war:

Frankreichs Bildungsministerium und Ministerium für den ökologischen Übergang und territorialen Zusammenhalt, Agence Française de Développement, Centre National de Recherche Scientifique, Foundation for Environmental Education, IPCC-Arbeitsgruppen I, II und III, IPCC Technical Support Units, Institut Pierre Simon Laplace, Institut de Recherche pour le Développement, Fondation Ginkgo, Fondation Luciole, Météo France, Association Météo et Climat, Fondation Prince Albert II de Monaco, Siemens Stiftung, Sorbonne-Université, UNESCO.

BILDNACHWEISE

Seite 5	Norman Kuring, NASA/NOAA/GSFC/Suomi NPP/VIIRS	Seite 46	Sylvie Decitre, Collège Charles Exbrayat, La Grande Croix, Frankreich, OCE
Seite 10	Ghilaci Naceira (Lycée professionnel Renée Bonnet), OCE	Seite 51	Amela Majdanac
Seite 17	W. O. Field, Bruce F. Molnia/USGS	S. 53 - 57	Camille Risi, LMD-IPSL
S. 24 - 27	Valentin Maron (EFTS-Labor, Toulouse)	Seite 66	Google Earth
Seite 29	Anton Savinov, Unsplash	Seite 67	Bruno Kelly/Greenpeace
	Airam Dato-on, Pexels		Perlinkinso, Wikimedia commons
	Matteo Catanese, Unsplash		Terre-net Média
	Erik Witsoe, Unsplash		Suvrajit, Unsplash
	Kurt Cotoaga, Unsplash		Dieter Staab, Pixabay
	R Architecture, Unsplash		Franck Barske, Pixabay
Seite 30	OCE		Eszter Miller, Pixabay
Seite 35	Photogravure Meisenbach Riffarth & Co. Leipzig, Wikimedia Commons	Seite 68	Eliza, Pixabay
Seite 36	Emma Haziza, Wikimedia Commons, CC-BY-SA 4.0	Seite 69	Suvrajit, Unsplash
Seite 37	AIP Emilio Segrè Visual Archives, Gift of Bill Woodward, USNS Kane Collection	Seite 71	Dieter Staab, Pixabay
Seite 38	Edward Alexander Newell Arber, Wikimedia Commons	Seite 73	Imane Sellami (Lycée français international André Malraux, OSUI, Maroc), OCE
Seite 39	William Shaw Warren, Wikimedia Commons	Seite 78	Mathieu Hirtzig & Benjamin Gibeaux, OCE
Seite 44	Christophe Hendrickx, Wikimedia Commons CC-BY-SA 3.0		Master für angewandte Kunst, Hochschule Jacques Prévert, Boulogne Billancourt, Frankreich, OCE

Das Klima in unseren Händen ist eine Sammlung von Bildungsmaterialien für Schulen der Primar- und Sekundarstufe, erstellt vom Office for Climate Education und seinen Partnern.

Dieser dritte Band mit dem Titel „Klimamodelle“ bietet einen fertig ausgearbeiteten Unterrichtsplan, der Schülerinnen und Schülern den Klimawandel in seiner wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Dimension, auf lokaler und globaler Ebene näherbringt, ihr logisches Denken fördert und sie darin begleitet, konkrete Maßnahmen zum Klimaschutz und/oder zur Anpassung an den Klimawandel in ihren Schulen und Gemeinden umzusetzen.

Mehr noch als in den beiden vorherigen Handbüchern liegt der Schwerpunkt dieses Bandes darauf, zu erklären, was Klimamodelle sind, wie die Komplexität des Erdklimasystems in die Modelle einfließt und worin der Unterschied zwischen Klimaprojektionen und Szenarien des IPCC besteht.

Dieses Handbuch ist Teil eines europäischen Projekts zu Klimamodellen: **Earth System Models for the future (ESM2025)**, das von Météo-France – CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques) – koordiniert wird. Ziel des Projekts ist die Entwicklung der nächsten Generation von Klimamodellen des Erdsystems (ESM). ESM2025 wird die relevanten wissenschaftlichen Erkenntnisse und Empfehlungen liefern, die für die Umsetzung ehrgeiziger und realistischer Strategien zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels nötig sind. Diese sollen die öffentlichen Maßnahmen unterstützen, die für den gesellschaftlichen Wandel hin zu einer klimaneutralen und klimaresistenten Gesellschaft und zur Erreichung der Ziele des Pariser Abkommens erforderlich sind. ESM2025 möchte sich mit der Schaffung von Bildungsressourcen auch speziell an die junge Generation wenden, um ihr ein besseres Verständnis des Klimawandels und ihrer Handlungsmöglichkeiten zu vermitteln.

Dieses Handbuch:

- richtet sich an Schüler:innen der Sekundarstufe II (> 15 Jahre);
- enthält Hintergrundinformationen und Tipps für Lehrende, Unterrichtseinheiten, Arbeitsblätter sowie Verweise auf externe Materialien (Videos und Multimedia-Animationen);
- ist interdisziplinär – die Unterrichtseinheiten umfassen Naturwissenschaften, Sozialwissenschaften und Kunst;
- fördert eine aktive Pädagogik: forschend-entdeckendes Lernen, Rollenspiele, Multimedia-Animationen, Programmieren und projektbasiertes Lernen.



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Office for
Climate
Education

UNDER THE AUSPICES OF UNESCO
AND THE FOUNDATION LA MAIN À LA PÂTE



GRANT AGREEMENT
N° 101003536

