

Sekundarstufe
14-16



Bildungsressourcenpaket

PLANETEN WÄRMEPUMPEN

Lehrerhandbuch und Arbeitsblätter
für Schüler*innen



| | |
|--|----------|
| PLANETARISCHE WÄRMEPUMPEN: Überblick | Seite 3 |
| Zusammenfassung der Aktivitäten | Seite 5 |
| Klimabeobachtung aus dem Weltraum | Seite 7 |
| Ozeane und Klima: Hintergrundinformationen | Seite 8 |
| | |
| Aktivität 1: PLANETARISCHE WÄRMEPUMPEN | Seite 11 |
| Aktivität 2: STEIGENDES UND ABSINKENDES WASSER | Seite 14 |
| Aktivität 3: DER GOLFSTROM | Seite 18 |
| | |
| Schüler*innen (SuS) Arbeitsblatt 1 | Seite 21 |
| SuS-Arbeitsblatt 2 | Seite 22 |
| SuS-Arbeitsblatt 3 | Seite 25 |
| | |
| Informationsblatt 1 | Seite 27 |
| Links | Seite 32 |

Klimawandel-Initiative Bildungsressourcenpaket – PLANETARISCHE WÄRMEPUMPEN
<https://climate.esa.int/de/educate/>

Aufgabenkonzepte entwickelt von der University of Twente (NL) und
National Centre for Earth Observation (UK)

Das ESA Climate Office begrüßt Feedback und Kommentare

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

Erstellt vom ESA Climate Office

Copyright © European Space Agency 2020-2021

PLANETARISCHE WÄRMEPUMPEN: Überblick

Schnelle Fakten

Fächer: Geographie, Naturwissenschaften, Geowissenschaften

Altersspanne: 14-16 Jahre

Aufgabenstellung: Lesen, mathematische Untersuchungen, Internetrecherche

Komplexität: mittel bis fortgeschritten

Erforderliche Unterrichtszeit: 4 Stunden

Kosten: gering (5-20 Euro)

Ort: drinnen

Hilfsmittel: Internet, Taschenrechner, Tabellenkalkulationsprogramm, Eis und gefärbtes Wasser

Stichworte: Wärmekapazität, Dichte, thermohaline Zirkulation, Salzgehalt, Meeresoberflächentemperatur, Satellit, Erdbeobachtung, Ozeanschichtung, Golfstrom

Kurzbeschreibung

Bei dieser Reihe von Aktivitäten lernen die Schüler*innen (SuS), wie sich die Ozeanzirkulation auf das Klima auswirkt.

Bei der Einführungsaktivität führen die SuS Berechnungen durch, um die relativen Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Atmosphäre und die Ozeane zu vergleichen.

Anhand einer praktischen Übung, bei welcher leicht erhältliche Geräte zum Einsatz kommen, können die SuS sehen, auf welche Weise Wasser unterschiedlicher Temperaturen Schichten im Ozean bilden kann. Hier können sie sich darüber Gedanken machen, wie sie dieses Wissen nutzen könnten, um die Auswirkungen von Änderungen des Salzgehalts zu untersuchen.

Während der letzten Aktivität verwenden die SuS die Webanwendung *Climate from Space - Klima aus dem Weltraum*, um mehr über den Golfstrom herauszufinden.

Lernziel

Nach Durchführung dieser Aktivitäten werden die SuS in der Lage sein:

- Berechnungen durchzuführen, um die Rolle der Ozeane und der Atmosphäre, die sie bei der Regulierung des Klimas spielen, zu vergleichen.
- zu erklären, wie die globale thermohaline Zirkulation entsteht.
- zu beschreiben, wie Meeresströmungen Wasser und Energie um die Erde transportieren.
- anhand eines Modells die Bewegung von Wasser unterschiedlicher Temperaturen zu untersuchen und die Ozeanschichtung zu veranschaulichen.

- praktische Methoden zur Untersuchung einer Frage über die Wasserbewegung in den Ozeanen zu entwickeln.
- das Verhalten des Golfstroms anhand von Klimadaten zu beschreiben.
- Daten aus Aufzeichnungen von mindestens zwei wesentlichen Klimavariablen zusammenzufassen, um deren beobachtete wechselseitige Beziehung (Korrelation), oder einen Trend zu erklären.

Zusammenfassung der Aktivitäten

| | Titel | Beschreibung | Aufgaben und Ergebnisse | Vorkenntnisse | Zeit |
|---|-----------------------------------|-------------------|---|--|--------------------|
| 1 | Planetarische Wärmepumpen | Lesen und Rechnen | Führt Berechnungen durch, um die Rolle der Ozeane und der Atmosphäre bei der Regulierung des Klimas zu vergleichen. Erklärt, wie die globale thermohaline Zirkulation entsteht. Beschreibt, wie Meeresströmungen Wasser und Energie um die Erde transportieren. | Berechnungen mit der Standardform; Flächeninhalt einer Kugel; Umstellen von Gleichungen | Eine Stunde |
| 2 | Steigendes und absinkendes Wasser | Praktische Übung | Untersucht anhand eines Modells die Bewegung von Wasser unterschiedlicher Temperaturen und erklärt die Ozeanschichtung. Entwickelt praktische Methoden zur Untersuchung einer Frage über die Wasserbewegung in den Ozeanen. | Keine | Anderthalb Stunden |
| 3 | Der Golfstrom | Forschungsaufgabe | Beschreibt das Verhalten des Golfstroms anhand von Klimadaten. Fasst Daten aus Aufzeichnungen von mindestens zwei wesentlichen Klimavariablen zusammen, um eine beobachtete Korrelation oder einen Trend zu erläutern. | Leseteil der Aktivität 1 | Anderthalb Stunden |

Die angegebenen Zeiten gelten für die Hauptübungen, wobei ein vollständiger IT-Zugang und/oder die Verteilung der sich wiederholenden Berechnungen und Diagramme in der Klasse vorausgesetzt werden. Sie geben genügend Zeit für den Austausch von Ergebnissen, aber nicht für die Präsentation der Ergebnisse, da dies von der Größe der Klasse und der Gruppen abhängt. Alternative Ansätze können mehr Zeit in Anspruch nehmen.

Praktische Hinweise für die Lehrkraft

Das für jede Aktivität **benötigte Material** wird zu Beginn eines jeweiligen Abschnitts zusammen mit Hinweisen zu den eventuellen Vorbereitungen aufgeführt, die über das Kopieren von Arbeitsblättern und Informationsblättern hinausgehen.

Die **Arbeitsblätter** sind für die einmalige Verwendung bestimmt und können schwarz-weiß kopiert werden.

Die **Informationsblätter** können größere Bilder enthalten, welche Sie bei Ihren Präsentationen im Klassenzimmer miteinbeziehen können. Diese enthalten zusätzliche Informationen oder Daten für die SuS und deren Arbeiten. Diese Arbeitsmittel werden am besten in Farbe gedruckt oder kopiert und können wiederverwendet werden.

Alle **zusätzlichen Tabellen, Datensätze oder Dokumente**, die für die Übung benötigt werden, können unter folgendem Link heruntergeladen werden:

<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>

Erweiterungsideen und Vorschläge zur **Differenzierung** sind an geeigneten Stellen in der Beschreibung jeder Aktivität enthalten.

Arbeitsblattantworten und Beispielergebnisse für praktische Übungen sind zur Unterstützung der **Auswertung** enthalten. Im entsprechenden Teil der Aktivitätenbeschreibung sind die Möglichkeiten zur Verwendung lokaler Kriterien zur Bewertung von Kernkompetenzen, wie Kommunikation oder Datenverarbeitung, aufgeführt.

Gesundheit und Sicherheit

Es wird vorausgesetzt, dass bei der Durchführung aller Aktivitäten die regulären Verfahren bei der Verwendung von Geräten (einschließlich elektrischer Geräte wie z. B. Computer) und bei Bewegung innerhalb der Lernumgebung, beim Stolpern und Verschütten, einschließlich der Erste Hilfe Maßnahmen usw. eingehalten werden. Da die Notwendigkeit dieser Maßnahmen allgemeingültig ist, aber im Detail bei ihrer Umsetzung sehr unterschiedlich ist, werden diese nicht jedes Mal erneut aufgelistet. Stattdessen werden die Gefahren hervorgehoben, die für eine bestimmte praktische Tätigkeit besonders wichtig sind, um das jeweilige Risiko einzuschätzen.

Einige dieser Aktivitäten verwenden die Webanwendung *Climate from Space - Klima aus dem Weltraum*. Es ist möglich, von hier aus zu anderen Teilen der Website der ESA CLIMATE CHANGE INITIATIVE und von dort aus zu externen Websites zu gelangen. Falls Sie die Seiten, die sich die SuS ansehen nicht einschränken können oder möchten, weisen Sie Ihre SuS auf die lokalen Regeln zu Internet-Sicherheit hin.

Klimabeobachtung aus dem Weltraum

ESA-Satelliten spielen eine wichtige Rolle bei der Überwachung des Klimawandels. Die Webanwendung *Climate from Space* (Klima aus dem Weltraum) (cfs.climate.esa.int) ist eine Online-Ressource, die anhand von illustrierten Geschichten zusammenfasst, wie sich unser Planet verändert und die Arbeit von ESA-Wissenschaftlern hervorhebt.

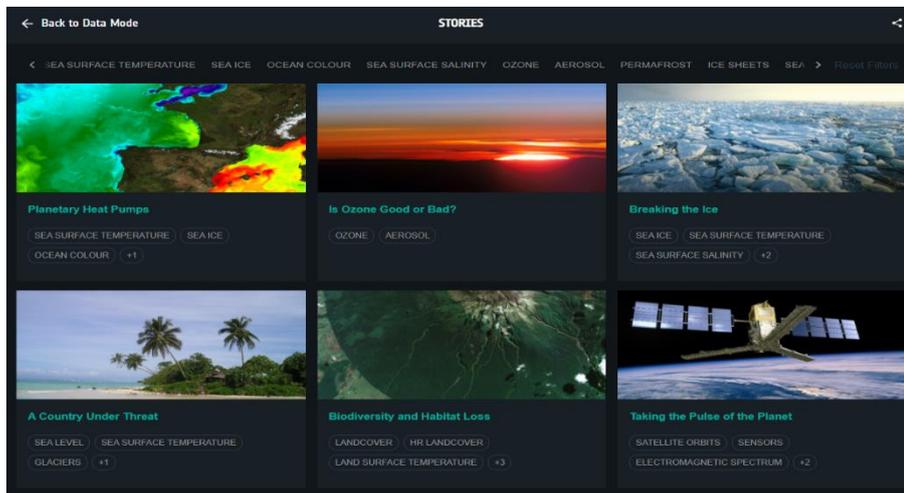


Abbildung 1: Geschichten in der Webanwendung *Climate from Space* (Quelle: ESA CCI)

Das Programm CLIMATE CHANGE INITIATIVE der ESA erstellt zuverlässige globale Aufzeichnungen einiger wichtiger Aspekte des Klimas, die als wesentliche Klimavariablen (ECVs, Essential Climate Variables) bekannt sind. Die Webanwendung *Climate from Space* ermöglicht es euch, mehr über die Auswirkungen des Klimawandels zu erfahren, indem Ihr diese Daten selbst auswertet.

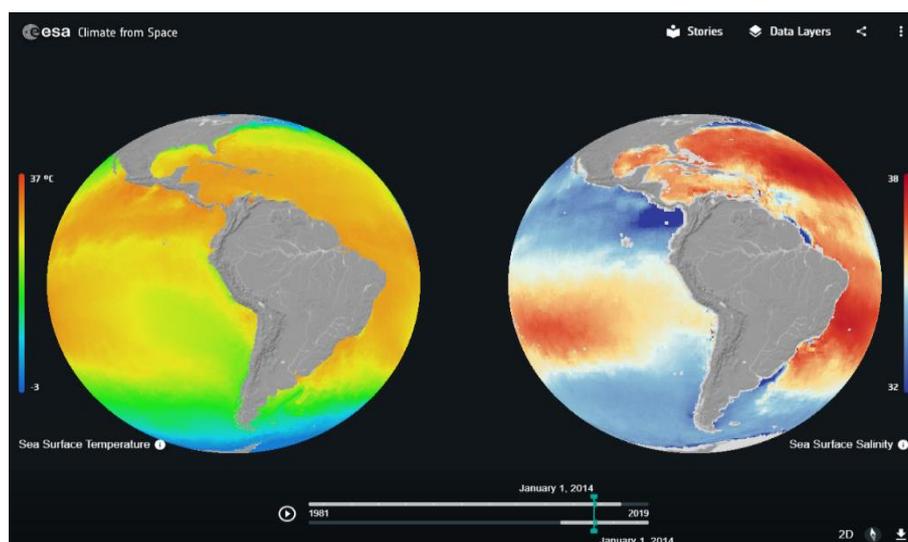


Abbildung 2: Vergleich von Temperatur und Salzgehalt der Meeresoberfläche in der Webanwendung *Climate from Space* (Quelle: ESA CCI)

Ozeane und Klima: Hintergrundinformationen

Ozeane und Klima

Das Wetter kann kompliziert und schwer vorhersehbar sein, aber die Umverteilung der Wärme auf der Erde ist einer der Hauptfaktoren: Die vom Sonnenlicht absorbierte Energie bewegt sich durch die Strahlung von der Oberfläche zwischen Orten mit unterschiedlichen Temperaturen, wenn Wasser verdunstet, und durch die Zirkulation der Atmosphäre und der Ozeane. Obwohl wir erwarten würden, dass die Hauptrichtung dieser Wärmebewegung vom warmen Äquator zu den kalten Polen verläuft, kommt durch die Erdrotation und die Reibung zwischen den Schichten der Atmosphäre und der Ozeane eine Ost-West-Komponente hinzu. Dies ist nur der erste von vielen komplizierenden Faktoren.

Die meisten von uns verbringen den größten Teil ihres Lebens auf dem Land, welches weniger als ein Drittel der Oberfläche unseres Planeten bedeckt. Das Wetter, das unsere täglichen Aktivitäten beeinflussen kann, wird in erster Linie durch die Bewegung der Atmosphäre beeinflusst. Daher denken wir nicht oft an die Rolle, die die Ozeane bei der Beeinflussung von Wettermustern und, auf einer längeren Zeitskala, bei der Steuerung des Klimas spielen.

Gebiete auf der Erde, die gleich weit vom Äquator entfernt sind, erhalten im Laufe eines Jahres die gleiche Menge an Sonnenstrahlung, so dass man erwarten könnte, dass sie ein ähnliches Klima besitzen. Ein Blick auf die Siedlungsmuster zeigt, dass dem nicht so ist: Viele europäische Städte liegen im Bereich zwischen dem 49 und 52 Grad nördlicher Breite, aber die großen Städte an der Ostküste Nordamerikas liegen viel weiter südlich. Dass das Klima an Orten, die genauso weit nördlich liegen wie die norwegische Küste, im Vergleich zu Orten in ähnlichen Breitengraden auf dem amerikanischen Kontinent oder im Zentrum der asiatischen Landmasse mild ist, ist zum Teil auf eine wichtige Strömung zurückzuführen, die uns als Golfstrom bekannt ist. Die Energie, die dieser Strom aus tropischen Breitengraden in den westlichen Atlantik transportiert, wird vom Wasser auf die darüber liegende Luft übertragen und durch auflandige Winde (Seewinde) in Richtung Land getragen.

Meeresströmungen

Das Golfstromsystem, das die SuS in Aktivität 3 erkunden, ist eines von vielen Strömungssystemen oder Wirbeln, die durch Oberflächenwinde entstehen, welche die obere Schicht des Ozeans mitreißen, vergleichbar mit einer Brise, welche die Oberfläche einer Pfütze aufwirbelt. Um einen weiteren Wirbel handelt es sich bei dem subtropischen Wirbel, welcher von den Passatwinden im Pazifik angetrieben wird. Störungen dieses Zirkulationsmusters führen zu den Ereignissen El Niño oder La Niña, die in dem begleitenden Unterrichtsmaterial *Taking the Pulse of the Planet – Dem Planeten auf den Puls fühlen* (Sekundarstufe II) untersucht werden. Es ist über folgendem Link zugänglich:

<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>

Wenn man schon einmal im Meer geschwommen ist, kennt man die Auswirkungen lokaler Zirkulationsmuster, die sich aus den Gezeiten oder der Geografie der Küste und des Meeresbodens ergeben. Beim Schwimmen spürt man Temperaturschwankungen und die Richtung, in die der Ozean sie zieht, und muss sich möglicherweise auch der Kraft eines Sogs, Wasser, das sich unter der Oberfläche in eine andere Richtung bewegt, bewusst sein. In einem größeren Maßstab bewegt sich das Wasser in einem solchen dreidimensionalen Zirkulationsmuster im Laufe von etwa tausend Jahren um die gesamte Welt. Dieses so genannte *Great Ocean Conveyor Belt* – globale Förderband (s. Abb. 3 auf der nächsten Seite) wird auch als globale thermohaline Zirkulation bezeichnet, da sie durch Temperatur- und Salzgehaltsunterschiede angetrieben wird. Wenn sich zum Beispiel in der Arktis Meereis bildet, bleibt sazhaltigeres Wasser zurück, das aufgrund seiner höheren Dichte in die Tiefe absinkt. Das Oberflächenwasser wird in Richtung des Eises gezogen, kühlt sich ab und sinkt ab, so dass eine kalte Tiefenströmung entsteht, die sich vom Eis wegbewegt, und eine wärmere Oberflächenströmung, die sich auf das Eis zubewegt. In der Aktivität 2 wird in viel kleinerem Maßstab gezeigt, wie Dichteunterschiede dazu führen können, dass sich Wasser in verschiedenen Tiefen in unterschiedliche Richtungen bewegt.

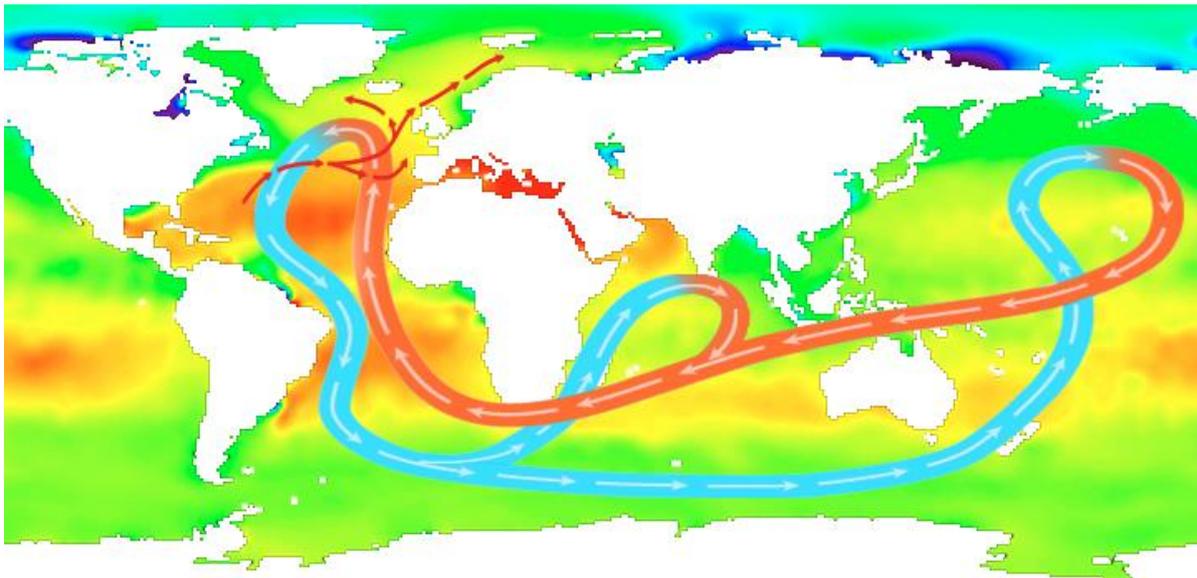


Abb. 3: Durchschnittlicher Salzgehalt (Hintergrundfarben: rot zeigt einen hohen, grün einen niedrigen Salzgehalt an); der Golfstrom (rote Pfeile); und die globale thermohaline Zirkulation (breites Band: kühleres Oberflächenwasser ist blau, wärmeres Oberflächenwasser ist rot) (Quelle: ESA)

Satellitenbeobachtungen über dem Meer

Als noch keine Satelliten eingesetzt wurden, konnte die Temperatur des Ozeans nur mittels Thermometern gemessen werden, die an der Küste installiert wurden, von Schiffen herabgelassen wurden oder an Bojen oder Tauchbooten befestigt waren. Dies bedeutete natürlich, dass die Messungen lückenhaft waren und nur für wenige Orte kontinuierliche Aufzeichnungen zur Verfügung standen.

Wärmebildkameras auf Satelliten können in regelmäßigen Abständen die Oberflächentemperatur der Ozeane auf der ganzen Welt erfassen. Ein Satellit in einer geostationären Umlaufbahn kann etwa alle fünfzehn Minuten jeden Meeresabschnitt in einer bestimmten Hemisphäre aufnehmen. Ein Satellit in einer polaren Umlaufbahn, der sich näher an der Erde befindet, kann mehr Details ausmachen und den gesamten Planeten abdecken und misst dabei nur ungefähr alle zehn Tage die Temperatur eines bestimmten Orts. (Das oben erwähnte Bildungsressourcenpaket *Taking the Pulse of the Planet – Dem Planeten auf den Puls fühlen* enthält weitere Informationen darüber, wie Satellitenbahnen sich auf die von ihnen erfassten Daten auswirken).

Aktivität 1: PLANETARISCHE WÄRMEPUMPEN

Diese auf dem Lesen basierende Aktivität führt zu Berechnungen mit der spezifischen Wärmekapazität. Die entsprechende Gleichung wird angegeben, so dass keine Vorkenntnisse zu diesem Begriff vorausgesetzt werden. Ein oder beide Teile der Aufgabe, das Lesen und die Berechnungen, können, abhängig von den Fähigkeiten der Klasse, als Hausaufgabe aufgegeben werden.

Hilfsmittel

- Informationsblatt 1 (2 Seiten)
- SuS-Arbeitsblatt 1
- Taschenrechner
- Webanwendung: *Climate from Space: Geschichte über Planetary Heatpumps - Planetarische Wärmepumpen* (optional)

Aufgabe

1. Bitten Ihre SuS, das Informationsblatt 1 zu lesen und in Einzel- oder Partnerarbeit den Inhalt in einer Form zusammenzufassen, die sie für hilfreich halten. Dies kann zum Beispiel eine Liste von Aufzählungspunkten oder eine Konzeptkarte sein. Falls diese Aufgabe innerhalb der gesamten Klasse bearbeitet wird, besteht für Sie die Möglichkeit den Text mit Material aus der Geschichte *Climate from Space – Planetary Heatpumps* wie folgt zu ergänzen:
 - Die Galerie auf Folie 2 enthält eine Karte der Meeresoberflächen-temperaturen, welche zu einer Diskussion über die Ursachen der Oberflächenströmungen anregen kann. Des Weiteren enthält sie einen Querschnitt des Atlantiks, der die vertikale Verteilung des Wassers bei verschiedenen Temperaturen zeigt, und eine Karte der thermohalinen Zirkulation. (Mit der Pfeiltaste ganz rechts auf dem Bildschirm gelangt man auf die verschiedenen Bilder dieser Folie).
 - Der Globus auf Folie 3 zeigt die Meeresoberflächentemperaturen auf der gesamten Welt in Intervallen seit 1981. (Diese Folie sollte schrittweise und nicht fortlaufend abgespielt werden.)
 - Folie 4 enthält ein Video, welches die Wechselwirkungen zwischen der Atmosphäre und dem Ozean, einschließlich einer Veranschaulichung des Temperaturabfalls in Folge eines Hurrikans (von 0:22 bis 0:36) und des Auftriebs (0:40-1:06), erläutert.
 - Folie 6 enthält zusätzliche Informationen über die Veränderung des Salzgehalts und zeigt, wie dieser weltweit variiert. Im Text wird die Rolle des Salzgehalts der Wärmepumpe der Erde erklärt.
2. Arbeitsblatt 1 führt die SuS durch eine Berechnung des theoretischen Temperaturanstiegs in Bezug auf die Geschwindigkeit, mit welcher dem Erdsystem überschüssige Wärme zugeführt wird. Bitten Sie Ihre SuS, die Berechnung durchzuführen und leisten Sie bei Bedarf Hilfestellung.

3. Bei der letzten Frage werden die SuS aufgefordert, die Überlegungen aus dem Informationsblatt zu verwenden, um zu erklären, warum ihre Berechnungen nicht mit den Beobachtungen übereinstimmen.

Weithin zitierte Zahlen ergeben einen globalen Temperaturanstieg von etwa 1°C seit der vorindustriellen Zeit (mehrere hundert Mal weniger als die berechnete Zahl) und eine Meeresoberflächentemperatur von $0,13^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt (etwa zehn Mal mehr als das Ergebnis der Berechnung).

Die Diskussion dieser Antworten könnte zu der Annahme führen, dass mathematische Modelle, die in der Wissenschaft verwendet werden, oft mit großen Näherungswerten beginnen, die nach und nach verfeinert werden, um die Situation an die Realität anzupassen.

In diesem Fall wäre ein zweiter Näherungswert für die Atmosphäre auf der Grundlage der Daten auf dem Informationsblatt die Verwendung von 10 % der jährlichen Energiemenge.

Eine zweite Annäherung für die Ozeane könnte darin bestehen, die Oberfläche der Ozeane zu ermitteln (70 % der Antwort auf Frage 1), die Masse einer Schicht von etwa 30 m Tiefe zu berechnen (die durchschnittliche Dichte des Meerwassers beträgt 1027 kg m^{-3}) und diesen Wert zur Berechnung des erwarteten Temperaturanstiegs zu verwenden. Sie können diese Berechnung auch von leistungsstärkeren SuS durchführen lassen.

Arbeitsblattantworten

1. Mit $A = 4\pi r^2$ Oberfläche der Erde = $5,15 \times 10^{14}\text{ m}^2$
2. Gesamter Energieüberschuss = $0,62\text{ W m}^{-2} \times 5,15 \times 10^{14}\text{ m}^2 = 3,19 \times 10^{14}\text{ J s}^{-1} = 3,19 \times 10^{14}\text{ J s}^{-1} \times (60 \times 60 \times 24 \times 365,25) = 1,01 \times 10^{22}\text{ J year}^{-1}$
3. Mit $\Delta T = Q \div mc$ ergibt sich der atmosphärische Temperaturanstieg = $1,01 \times 10^{22}\text{ J year}^{-1} \div (5,14 \times 10^{18}\text{ kg} \times 1158\text{ J kg}^{-1}\text{C}^{-1}) = 1,69^{\circ}\text{C year}^{-1}$
4. Temperaturanstieg im Ozean = $1,01 \times 10^{22}\text{ J year}^{-1} \div (1,4 \times 10^{21}\text{ kg} \times 3850\text{ J kg}^{-1}\text{C}^{-1}) = 1,87 \times 10^{-3}\text{C year}^{-1}$
5. Die Atmosphäre. Weil die Atmosphäre eine viel geringere Masse besitzt und die Luft eine geringere spezifische Wärmekapazität besitzt.
6. Die tatsächliche Zahl für die Atmosphäre ist geringer, weil die Ozeane 90 % der überschüssigen Energie absorbieren. Ein Teil wird zudem vom Land absorbiert, wodurch die zur Erwärmung der Atmosphäre verfügbare Menge weiter verringert wird und zu einem geringeren jährlichen Temperaturanstieg führt.
Bei der Berechnung für den Ozean wurde die Gesamtmasse des Ozeans zugrunde gelegt. Die Energie wird jedoch an der Oberfläche absorbiert und verbleibt größtenteils in den oberen Schichten. Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter. Wärmeres Wasser schwimmt, zumindest bei über 4°C , auf kälterem Wasser. Es wird Jahrhunderte dauern, bis die thermohaline Zirkulation diese Energie in die Tiefe des Ozeans transportiert. Die für die Berechnung verwendete Masse ist daher viel zu groß, was zu einem jährlichen Temperaturanstieg führt, der viel zu gering ist.

Der Gesamtwert dieser Übung bezieht sich auf den Zeitraum von 2000 - 2012 und stammt aus Allan, R., Liu, C., Loeb, N., Palmer, M., Roberts, M., Smith, D., & Vidale, P. (2014) "*Changes in global net radiative imbalance 1985 - 2012*", *Geophysical Research Letters* DOI: [10.1002/2014GL060962](https://doi.org/10.1002/2014GL060962).

Aktivität 2: STEIGENDES UND ABSINKENDES WASSER

Bei dieser praktischen Aktivität simulieren die SuS die Thermodynamik des Ozeans in einem Behälter. Dabei verwenden sie gefärbtes Wasser, um die Strömungen zu verfolgen und um sichtbar zu machen, wie sich Wasserschichten unterschiedlicher Temperaturen bilden und erhalten. Sie werden aufgefordert zu überlegen, wie sie das Modell nutzen können, um andere Aspekte der Ozeanzirkulation zu demonstrieren.

Arbeitsmaterial

- Ein großes durchsichtiges Gefäß pro Gruppe, z. B. ein großes Becherglas oder eine Vase oder eine Zwei-Liter-PET-Flasche, deren oberer Teil abgeschnitten ist
- Ein kleines Gefäß pro Gruppe. Dieses sollte einen ziemlich breiten Boden haben und klein genug sein, um in das größere Gefäß eingetaucht werden zu können, z. B. ein Gewürzglas
- Plastiktüten
- Gummibänder oder eine Schnur
- Lebensmittelfarbe oder Tinte
- Eis in einem Eimer zum Kühlen, oder gekühltes Wasser
- Zugang zu warmem und kaltem Wasser
- Eine Stoppuhr oder eine Uhr pro Gruppe (optional)
- Eine Kamera oder ein Smartphone pro Gruppe (optional)
- Ein Thermometer (fakultativ)
- Tücher oder Papierhandtücher
- SuS-Arbeitsblatt 2 (2 Seiten)
- Materialien zur Erstellung von Postern oder eine Software zur Erstellung von Videos oder Präsentationen (s. Schritt 3)
- Die Webanwendung *Climate from Space: Geschichte über die Planetary Heatpumps – Planetarische Wärmepumpen* (optional)

Gesundheit und Sicherheit

Es wird heißes Wasser zwischen 40°C und 60°C verwendet. Falls kein fließendes heißes Wasser verfügbar sein sollte, kann kochendes Wasser aus einem Wasserkocher unter das kalte Wasser gemischt werden.

Lebensmittelfarbe und Tinte können Flecken hinterlassen. Daher sollten die SuS vorsichtig arbeiten, um das Verschütten von Flüssigkeiten und Spritzer zu vermeiden.

Es ist darauf zu achten, dass die Geräte auf stabilen Flächen und nicht an Tisch- oder Bankkanten aufgestellt werden.

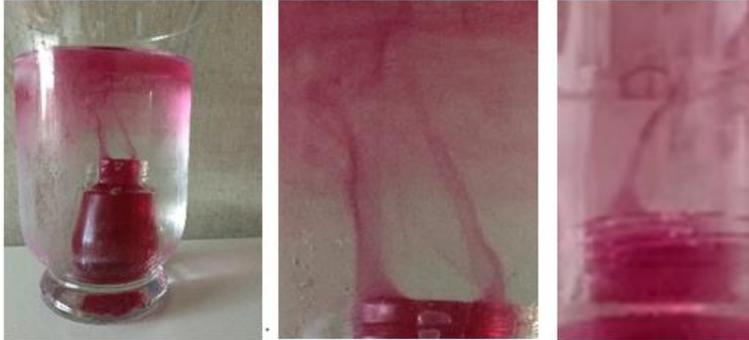
Es ist sicherzustellen, dass jederzeit Material für die Beseitigung von verschütteten Flüssigkeiten bereit steht.

Aktivität

1. Leiten Sie die Aktivität ein, indem Sie ein Diagramm eines Querschnitts durch den Nordatlantik präsentieren, auf welchem gezeigt wird, wie die Temperatur an der Oberfläche und in der Tiefe variiert.
Dies ist eines der Bilder in der Galerie auf Folie 2 der Geschichte *Planetary Heatpumps – Planetarische Wärmepumpen* in der Webanwendung *Climate from Space*. Es ist auch auf Informationsblatt 2 zu sehen. Erklären Sie, dass die SuS in dieser Lektion untersuchen werden, wie die in diesem Diagramm gezeigte Schichtung zustande kommt.
2. Die SuS können daraufhin die Untersuchung durchführen, indem sie den Anweisungen auf dem SuS-Arbeitsblatt 2.1 in Partner- oder Gruppenarbeit folgen.
Sollte die Zeit knapp sein, besteht die Möglichkeit, die vorgeschlagenen Kombinationen in der Klasse zu verteilen und jedes Paar oder jede Gruppe nur ein oder zwei Beobachtungsreihen durchführen zu lassen.
Falls Sie über mehr Zeit verfügen und Thermometer zur Verfügung stehen, fordern Sie Ihre SuS auf, zu untersuchen, wie sich der Prozess durch den Temperaturunterschied verändert. Welches ist der kleinste Temperaturunterschied, der eine Zirkulation auslöst? Führt er zu einer Schichtung?
3. Bitten Sie die SuS, die Anweisungen auf dem Arbeitsblatt 2.2 zu befolgen, um ihre Ergebnisse in einer Weise zu analysieren und zu präsentieren, die der Methode entspricht, die sie zur Aufzeichnung ihrer Beobachtungen verwendet haben. Vielleicht möchten Sie zusätzliche Anforderungen oder Beschränkungen einführen, um bestimmte Fähigkeiten zu bewerten oder die Herausforderung zu erhöhen.
Ermutigen Sie die SuS, ihre Beobachtungen mit Ideen über die Veränderung der Dichte in Abhängigkeit von der Temperatur zu erklären und sie mit dem Wissen, das sie während der letzten Aktivität erworben haben, in Verbindung zu bringen.
4. Geben Sie Ihren SuS die Gelegenheit ihre Ergebnisse mit einer anderen Gruppe zu teilen, nach Ähnlichkeiten und Unterschieden zu suchen und ihre Erklärungen gemeinsam zu bewerten.
5. Bei den Konstruktionsaufgaben am Ende des Arbeitsblatts 2.2 werden die SuS aufgefordert, die praktische Übung anzupassen, um zu untersuchen, wie der Salzgehalt die Wasserbewegung beeinflusst, und den Auftrieb zu demonstrieren. Die SuS können diese in Gruppen diskutieren oder eine der Aufgaben als Hausaufgabe erledigen. Falls es die Zeit erlaubt, können sie ihre Pläne umsetzen.

Ergebnisse der Stichprobe

Kaltes Wasser in großem Behälter, heißes Wasser in kleinem Behälter



Das weniger dichte, wärmere Wasser strömt schnell nach oben und bildet Wirbel wie Rauchfahnen. Das gefärbte Wasser breitet sich nach außen aus und bildet eine schwimmende Schicht aus wärmerem Wasser an der Oberfläche (s. Abb. 4).

Abbildung 4: Ergebnisse für einen großen Behälter mit kaltem Wasser und einen kleinen Behälter mit heißem Wasser (Quelle: ESA CCI)

Heißes Wasser in großem Behälter, kaltes Wasser in kleinem Behälter

Das dichtere kalte Wasser verbleibt in dem Behälter. Wenn man den großen Behälter ein wenig anstößt, bewegt sich das Wasser an der Oberfläche und ein Teil davon kann herausschwappen. Es bleibt jedoch als Blase erhalten und schwimmt im wärmeren Wasser, so als befände es sich in der Schwerelosigkeit (s. Abb. 5).



Abbildung 5: Ergebnisse für große Behälter mit heißem Wasser, kleine Behälter mit kaltem Wasser (Quelle: ESA CCI)

Heißes Wasser im großen Behälter, kaltes Wasser im horizontalen kleinen Behälter



Abbildung 6: Ergebnisse für großen Behälter mit heißem Wasser, horizontaler kleiner Behälter mit kaltem Wasser (Quelle: ESA CCI)

Das Wasser fließt aus dem kleinen Behälter ab, verbleibt, da es dichter ist, am Boden des großen Behälters und bildet eine Schicht am Boden (s. Abb. 6).

**Heißes Wasser in großem Behälter,
kaltes Wasser oben eingefüllt**

Das dichtere kalte Wasser sinkt auf den Boden und erzeugt ähnliche Wirbel und Strömungsmuster wie im ersten Experiment (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: Einleiten von kaltem Wasser am oberen Ende eines großen Warmwasserbehälters (Quelle: ESA CCI)

Aktivität 3: DER GOLFSTROM

Die SuS nutzen bei dieser Aktivität die Webanwendung *Klima aus dem Weltraum*, um die Meeresoberflächentemperaturen entlang des Golfstroms zu untersuchen. Auch werden sie hier Daten herunterzuladen, um Muster und Trends entlang des Golfstroms mit denen in anderen Teilen des Nordatlantiks zu vergleichen. Anschließend recherchieren und erklären sie die Zusammenhänge zwischen der Meeresoberflächentemperatur und einer anderen Klimavariablen, indem sie das Wissen, das sie während der Bearbeitung dieses Themas erlangt haben, nutzen.

Hilsmittel

- Internetzugang
- Webanwendung *Climate from Space*
- SuS-Arbeitsblatt 3 (2 Seiten)
- Planetarische Wärmepumpen , Arbeitsblatt Aktivität 3
- Tabellenkalkulationsprogramm oder Millimeterpapier (ersteres bevorzugt)

Vorbereitung

Sie können das Arbeitsblatt " Planetarische Wärmepumpen - Aktivität 3" aus dem Abschnitt "*Planetary Heatpumps*" der ESA-Webseite "Klima für Schulen" (<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>) an einen Ort herunterladen, an dem Ihre SuS ohne Internetverbindung darauf zugreifen können, oder die darin enthaltenen Daten ausdrucken, damit die SuS sie von Hand aufzeichnen können.

Aufgabe

1. Bitten Sie Ihre SuS, ohne die Hilfe einer Karte oder eines Atlanten, anzugeben, welche der folgenden Städte weiter nördlich liegen: Paris oder Montreal? Amsterdam oder New York? Vancouver oder London? Oslo oder Calgary? In allen Fällen ist es die europäische Stadt. In einigen oder allen Fällen denken viele Menschen aber, dass es sich um eine andere Stadt handelt, weil die nordamerikanischen Städte ein kühleres Klima besitzen.
2. Erinnern Sie die SuS daran, dass Westeuropa, wie auf Informationsblatt 1 vermerkt, durch den Golfstrom erwärmt wird und kündigen Sie an, dass sie in dieser Lektion mehr darüber erfahren werden.
3. Bitten Sie die SuS, zunächst den Golfstrom in der Webanwendung *Climate from Space* zu erforschen, indem sie den Anweisungen auf dem SuS-Arbeitsblatt 3.1 folgen. Sie sollten dann den Datensatz in der Tabelle, wie im ersten Teil des SuS-Arbeitsblatts 3.2 beschrieben, verwenden, um mehr Details zu erkennen. Aufgrund der geringen Größe des Datensatzes können die SuS ihn von Hand aufzeichnen. In diesem Fall sollten sie jedoch die Frage 4 auslassen, da es schwierig sein wird, eine Trendlinie zu erkennen.
4. Der Abschnitt "Verbindungen herstellen" auf dem Arbeitsblatt enthält mehrere Vorschläge für weitere Untersuchungen.
In den Anweisungen werden die SuS dazu aufgefordert, ihre Ergebnisse mit dem Erlernten über das Thema, aus dem ersten Teil und dem vorangegangenen Teil der Aktivität, in Verbindung zu bringen. Sie können die SuS deshalb bitten,

in Einzelarbeit einen kurzen Bericht zu verfassen. Diesen können Sie zur Bewertung des Gelernten verwenden.

Alternativ können Sie Paare oder Gruppen auffordern, ein Poster, eine Präsentation oder ein Video zu erstellen, um das Gelernte mit dem Rest der Klasse zu teilen.

Arbeitsblattantworten

1. Während der ersten Monate des Jahres, in denen das warme Wasser des Golfstroms in die kälteren nördlichen Gewässer fließt, ist ein deutlicher Temperaturunterschied zu verzeichnen. Im weiteren Verlauf des Jahres wird der Unterschied ab seinem östlichen Ende weniger auffällig. Der Strom ist auf dem ersten Teil seiner Reise klar definiert und scharfkantig. Dort, wo er sich mit kaltem Wasser aus der Arktis vermischt, bildet er kreisförmige Muster (Wirbel), welche die Ränder des Stroms unscharf werden lassen.
(s. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/02/Sea-surface_salinity_and_currents#.X9n4wBIA-uQ.link).

2. s. Tab.

| | | Geschätzte Durchschnittstemperatur / °C | |
|-----------------|--------|---|----------------|
| | Monat | Golfstrom | Golf von Maine |
| wärmste | August | 26 | 21 |
| kälteste | Januar | 19 | 10 |

3. s. Abb. 8

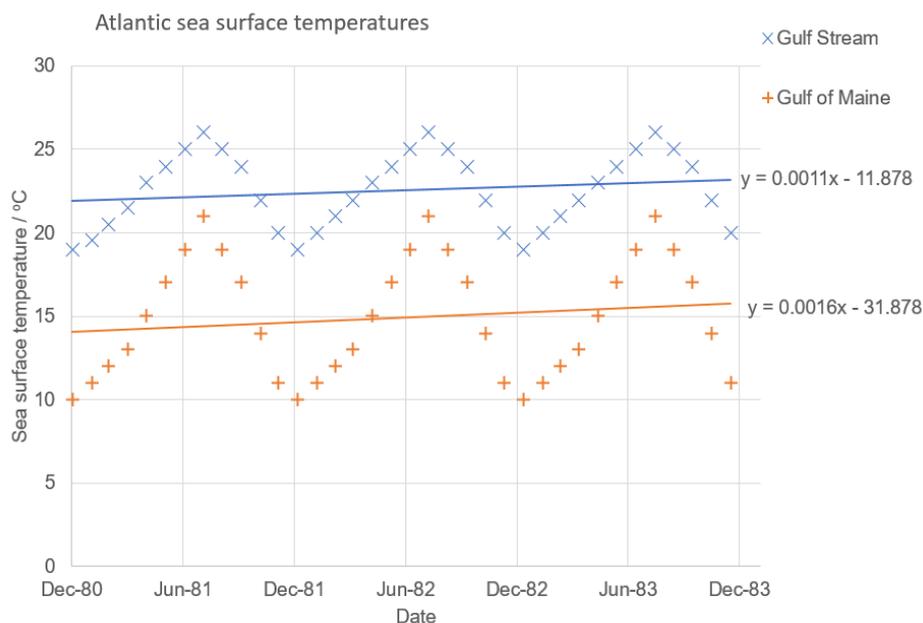


Abbildung 8: Darstellung der Daten aus dem Tabellenblatt "Planetarische Wärmepumpen Aktivität 3" (Quelle: ESA CCI)

4. Obwohl an beiden Orten die gleichen jahreszeitlichen Schwankungen zu beobachten sind, sind die Gewässer des Golfstroms wärmer und weisen geringere Temperaturschwankungen auf als die des Golfs von Maine. Die Durchschnittstemperaturen steigen in beiden Gebieten an. Im Golf von Maine steigen sie etwas schneller an. Die Raten betragen $0,0011^{\circ}\text{C}/\text{Tag} = 0,40^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$ im Golfstrom und $0,0016^{\circ}\text{C}/\text{Tag} = 0,58^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$ im Golf von Maine.

Numerische Daten für diese Aktivität wurden unter dem Link <https://giovanni.gsfc.nasa.gov> heruntergeladen.

Arbeitsblatt 1: PLANETARISCHE WÄRMEPUMPEN

Wende dein Wissen über Geometrie an und die untenstehenden Gleichungen, um die Fragen 1-5 zu beantworten. Achte auf die Einheiten und auf signifikante Zahlen.

$$\text{Leistung (in W)} = \text{Energie (in J)} \div \text{Zeit (in s)}$$

$$\text{Energie (in J)} = \text{Masse (in kg)} \times \text{spezifische Wärmekapazität (in J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}\text{)} \\ \times \text{Temperaturänderung (in °C)}$$

1. Der Radius der Erde beträgt 6400 km. Wie groß ist die Erdoberfläche in m²?

2. Nach einer Schätzung beträgt die durch globale Erwärmung eingeschlossene zusätzliche Energie 0,62 W m⁻². Wie hoch ist der Gesamtwert der zusätzlichen Energie, die auf der ganzen Welt eingeschlossen ist?

a. Jedes zweite Jahr? _____

b. jedes Jahr? _____

3. Wie hoch wäre der jährliche Temperaturanstieg der Atmosphäre, wenn die gesamte Energie in der Atmosphäre verbleiben würde?

Gesamtmasse der Atmosphäre = $5,14 \times 10^{18}$ kg

Durchschnittliche spezifische Wärmekapazität der Luft = $1158 \text{ J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$

4. Wie hoch wäre der jährliche Temperaturanstieg, wenn die gesamte Energie stattdessen in die Ozeane geleitet würde?

Gesamtmasse der Ozeane = $1,4 \times 10^{21}$ kg

Durchschnittliche spezifische Wärmekapazität des Meerwassers = $3850 \text{ J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$

5. Welche theoretische Zahl ist größer? Und warum?

In der Praxis ist der durchschnittliche Temperaturanstieg in der Atmosphäre viel geringer als die von dir berechnete Zahl, und die Messungen der Meerestemperaturen zeigen einen viel höheren Anstieg.

6. Erläutere diese Unterschiede anhand der Ideen aus dem Informationsblatt.

Arbeitsblatt 2: STEIGENDES UND ABSINKENDES WASSER

Arbeitsmaterial

- Einen großen durchsichtigen Behälter
- Einen kleinen Behälter
- Eine Plastiktüte
- Ein Gummiband
- Lebensmittelfarbe oder Tinte
- Eis oder gekühltes Wasser
- Heißes und kaltes Wasser
- Eine Stoppuhr oder Uhr (optional)
- Eine Kamera (optional) oder Smartphone

Gesundheit und Sicherheit

- Arbeitet umsichtig, um das Verschütten von Flüssigkeiten und Spritzer zu vermeiden, die zu Fleckenbildung führen können.
- Verwendet heißes Wasser zwischen 40°C und 60°C. Falls kein fließendes heißes Wasser verfügbar sein sollte, kann kochendes Wasser aus einem Wasserkocher mit kaltem Wasser vermischt werden.
- Bei der Verwendung von Glasbehältern ist besondere Vorsicht geboten.

Aufgabe

Ihr werdet euch genau ansehen, wie sich Wasser bei einer bestimmten Temperatur verhält, wenn es in Wasser mit einer anderen Temperatur eingebracht wird. Einige Kombinationen, die ihr ausprobieren könntet, werden in der folgenden Tabelle aufgelistet.

| | Wasser in einem große Behälter | Wasser in einem kleinen Behälter |
|---|---|--|
| 1 | kalt (aus dem Kühlschrank oder mit Eis gekühlt) | heiß |
| 2 | heiß | kalt |
| 3 | heiß | kalt (mit kleinem Behälter horizontal) |
| 4 | kühl (aus dem Kaltwasserhahn) | heiß |

1. Gebt Wasser mit einer Temperatur in den großen Behälter.
Füllt diesen etwa zu drei Vierteln.
Stellt ihn auf eine stabile Unterlage und lasst das Wasser ablaufen.
2. Gebt Wasser mit der anderen Temperatur in den kleinen Behälter.
Färbt dieses Wasser mit Lebensmittelfarbe oder Tinte. Es muss ziemlich dunkel sein.
Fertigt einen Deckel für den kleinen Behälter aus einem Stück der Plastiktüte an, das mit einem Gummiband oder einer Schnur befestigt wird.
Stecht einige Löcher in den Deckel, damit das gefärbte Wasser nicht zu schnell entweichen kann.
3. Versenkt den kleinen Behälter vorsichtig in dem größeren Behälter, wobei das Wasser so wenig wie möglich aufgewirbelt werden sollte.



(Quelle: ESA CCI)

4. Haltet eure Beobachtungen fest. Ihr könnt Beschreibungen, Zeichnungen, Fotos oder eine beliebige Kombination davon verwenden. Vielleicht möchtet ihr auch den Zeitpunkt notieren, zu dem ihr bestimmte Dinge beobachtet.
5. Sobald das Wasser einen stabilen Zustand erreicht hat (es scheint sich nur wenig zu verändern), leert ihr eure Behälter aus und probiert eine andere Kombination aus.
Ihr könnt auch eigene Kombinationen testen oder, falls die von euch verwendeten Behälter dies gefahrlos zulassen, das Wasser aus dem kleinen Behälter auf einer anderen Höhe einleiten.

Auswertung eurer Ergebnisse

1. Fasst eure Beobachtungen zu jeder Kombination, die ihr ausprobiert habt, wie folgt zusammen:
 - Wählt die drei Beobachtungen aus, deren Kombination am besten demonstriert, wie sich die Situation entwickelt hat.
 - Beschreibt jede Probe mit:
 - einem Satz, oder
 - einem kommentierten Bild, oder
 - einem Ausschnitt aus einem Video (höchstens 5 Sekunden lang).
 - Erklärt, was an jedem Punkt vor sich geht.
Verwendet die Erkenntnisse über Temperatur und Dichte.
2. Fällt euch etwas Interessantes auf, wenn ihr die Beobachtungen für zwei verschiedene Kombinationen miteinander vergleicht (zum Beispiel die Kombinationen 2 mit 3 oder 1 mit 4)?
Falls ja:
 - Fügt einen zusätzlichen Satz oder ein zusammengesetztes Bild hinzu, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede hervorzuheben.
 - Erläutert, wie es zu den von euch hervorgehobenen Ähnlichkeiten oder Unterschieden gekommen ist.
3. Erläutert, inwiefern das, was ihr beobachtet habt, mit der Zirkulation von Wasser und Energie in den Ozeanen zusammenhängt. Ihr könnt dabei auf das Informationsblatt 1 zurückgreifen.

Eure Lehrkraft wird euch mitteilen, in welchem Format ihr eure Ergebnisse mit ihr oder dem Rest der Klasse teilen könnt.

Untersuchung des Salzgehalts

Wie könnt Ihr dies Arbeitsmaterial verwenden, um die Auswirkungen von Unterschieden im Salzgehalt auf die Durchmischung zwischen Wasserschichten im Ozean zu untersuchen?

- Denkt an Stellen im Ozean, an denen Gewässer mit unterschiedlichem Salzgehalt aufeinandertreffen.
- Nutzt diese Ideen, um die zu untersuchenden Kombinationen auszuwählen.

- Ihr könntet einige Voruntersuchungen durchführen, um herauszufinden, wie stark ihr den Salzgehalt des Wasser erhöhen könnt, oder recherchieren, wie hoch der Salzgehalt verschiedener Teile des Ozeans ist.

Erstellt einen Plan und führt, wenn es euch die Zeit erlaubt, eure Untersuchung durch.

Demonstration von Auftrieb

Wie könnt ihr diese Ideen nutzen, um zu zeigen, wie ablandige Winde zum Auftrieb von kaltem Wasser aus der Tiefsee führen?

Zeichnet ein beschriftetes Diagramm, um eure Ideen darzustellen.

Arbeitsblatt 3: DER GOLF STROM

Öffnet die Webanwendung *Climate from Space* (cfs.climate.esa.int).

Klickt auf das Symbol DATENEbenen (oben rechts) und wählt MEERESOBERFLÄCHENTEMPERATUR.

Spielt die Animation mehrmals ab, um zu überprüfen, ob ihr versteht, wie die Steuerelemente auf dem Bildschirm euch unterstützen, bestimmte Orte oder Zeiten genauer zu betrachten.

Der Golfstrom ist eine warme Oberflächenströmung, die sich entlang der Küste Floridas ausbreitet und über den Nordatlantik fließt.

Allgemeine Muster

Verändert die Größe des Globusses in der Webanwendung *Climate from Space*, um den Golfstrom im Detail zu betrachten, und schaut euch in der Animation Monat für Monat über den Zeitraum von ein bis zwei Jahren an.

1. Wie entwickelt und verändert sich der Golfstrom im Laufe eines Jahres?
 Untersucht zum Beispiel, wie weit er sich jeden Monat über den Ozean erstreckt, wie ausgeprägt die Ränder sind und wie groß der Temperaturunterschied zwischen der Strömung und dem ihn umgebenden Ozean ist.

Konzentriert euch auf die folgenden zwei Orte, um mehr über den Golfstrom zu erfahren:

- Golfstrom östlich von Norfolk, Virginia.
- Golf von Maine.

Verwendet eine Online-Karte, um diese beiden Gebiete zu lokalisieren, damit ihr sie in der Webanwendung *Climate from Space* anhand der Form der Küste identifizieren könnt.

2. In welchen Monaten scheint das Wasser des Golfstroms am wärmsten und in welchen am kältesten zu sein? Schätzt jeweils die Temperatur und vergleicht sie mit der des Golfs von Maine in denselben Monaten.

| | Monat | Geschätzte Durchschnittstemperatur / °C | |
|-----------------|-------|---|----------------|
| | | Golfstrom | Golf von Maine |
| wärmste | | | |
| kälteste | | | |

Temperaturänderungen

Öffnet die Tabellenkalkulation *Planetary Heatpumps – Planetarische Wärmepumpen* Aktivität 3. (Eure Lehrkraft wird euch erklären, wie ihr darauf zugreifen könnt.) Die Tabelle zeigt einige der Daten, die zur Erstellung der Visualisierung in der Webanwendung *Climate from Space* verwendet wurden.

3. Stellt beide Datensätze in einem einzigen Diagramm dar, wobei das Datum auf der *x-Achse* und die Meeresoberflächentemperatur auf der *y-Achse* liegen.

Überprüft anhand des Diagramms eure Antworten auf die Frage 2.

Fügt für jeden Datensatz eine lineare Trendlinie hinzu und gebt die Gleichungen für jede Linie im Diagramm an.

4. Was sagen diese Linien und eure Gleichungen darüber aus, was mit dem Wasser im Golf von Maine und dem Golfstrom geschieht? Findet Gemeinsamkeiten und Unterschiede und verwendet, falls möglich, Zahlen zur Unterstützung eurer Schilderungen.

Bezüge herstellen

Findet mehr über das Verhalten und die Auswirkungen des Golfstroms heraus, indem ihr die Webanwendung *Climate from Space* und andere Quellen nutzt. Ihr könnt einer der folgenden Fragen oder einer eigenen Frage nachgehen.

- Wie beeinflusst der Golfstrom die Verteilung des Phytoplanktons im Atlantischen Ozean? (Verwendet die Datenebene FARBE DES OZEANS.)
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Golfstrom und den Salzgehaltsmustern im Nordatlantik?
- Welchen Einfluss hat die Ausdehnung des Meereises auf den Golfstrom?
- Gibt es Unterschiede beim Seegang entlang des Golfstroms? (Verwendet die Datenebene SEEGANG.)
- Gibt es merkbliche Unterschiede bei der Bewölkung, wenn die Temperatur des Golfstroms schwankt?

Nutzt euer Wissen darüber, wie sich Energie und Wasser zwischen der Atmosphäre und dem Ozean bewegen, um diese neuen Informationen mit den oben beschriebenen Mustern und Trends der Meeresoberflächentemperatur in Verbindung miteinander zu setzen.

Informationsblatt 1: PLANETARISCHE WÄRMEPUMPEN

An einem Mittsommertag kann das Wasser bei einem Bad im Meer überraschend kühl sein. Der Kaltwasserschock ist vor allem im Sommer eine der häufigsten Ursachen für ein Ertrinken. Obwohl die Sonne am höchsten steht und es mehr Sonnenstunden als an jedem anderen Tag des Jahres gibt, erreicht das Meer erst drei Monate später, das heißt im Herbst, seine Höchsttemperatur. Diese Verzögerung zeigt, dass das Meer eine hohe Wärmekapazität besitzt. Das Meer benötigt viel Energie, um seine Temperatur zu ändern, also erwärmt es sich nur langsam und kühlt sich nur langsam wieder ab.

Wasser ist ein außerordentlich guter Wärmespeicher. So gut, dass allein die obersten drei Meter des Ozeans so viel Wärme wie die gesamte Atmosphäre speichern. Und dabei erstreckt sich die Atmosphäre bis in einer Höhe von fast 100 Kilometern. Die Fähigkeit des Ozeans, die von der Sonne aufgenommene Energie zu speichern, zu transportieren und langsam wieder abzugeben, macht ihn zu einem der wichtigsten Klimaregulatoren unseres Planeten. Die oberen Schichten des Ozeans absorbieren etwa 90 % der durch die globale Erwärmung verursachten überschüssigen Wärme.

Der Wärmetransport um den gesamten Erdball

Der Äquator erhält viel mehr Energie von der Sonne als die Polarregionen. Durch die Zirkulation der Ozeane und der Atmosphäre wird diese Energie jedoch weltweit umverteilt. Die Meeresströmungen werden durch die Erdrotation, Oberflächenwinde und Unterschiede in der Dichte des Wassers aufgrund von Unterschieden im Salzgehalt und in der Temperatur angetrieben. Die oberen Schichten des Ozeans bewegen sich auf der Nordhalbkugel im Allgemeinen im Uhrzeigersinn und auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn.

Warme Oberflächenströmungen, wie der Golfstrom im Bild, transportieren Wärme vom Äquator und den Tropen in höhere Breiten. Dieser polwärts gerichtete Wärmetransport ist für das milde Klima in Westeuropa verantwortlich. Im Pazifik erwärmt der Kuroshio (dt. Schwarze Strömung; auch Japanstrom genannt) die Ostküste Japans, und es gibt normalerweise eine kalte Äquatorialströmung, die sich von Südamerika aus nach Westen erstreckt.



Benjamin Franklins Karte des Golfstroms, veröffentlicht im Jahr 1786 (Quelle: entnommen aus der Library of Congress)

Der so genannte "Fördergürtel" des atlantischen Ozeans oder die thermohaline Zirkulation reicht bis in die Tiefen des Ozeans und umspannt den gesamten Globus. Das Wasser benötigt etwa 1000 Jahre, um sich durch ihn zu bewegen.

Die Ozeane und die Atmosphäre transportieren jeweils ungefähr die gleiche Wärmemenge in Richtung der Pole. Die Zirkulation der Atmosphäre wird zum Teil durch die Energie angetrieben, die bei der Verdunstung von Meerwasser und bei Regenfällen ausgetauscht wird. Dies macht das Meer zu einem wichtigen Regulator des Klimas und die Temperatur seiner Oberfläche zu einer wichtigen Messgröße für Klimaforscher*innen.

Die Auswirkungen der Ozeanerwärmung

Höhere Meeresoberflächentemperaturen führen zu mehr Verdunstung. Mehr Wasserdampf in der Atmosphäre wird wahrscheinlich die Bewölkung und die Regenmenge erhöhen. Im westlichen Mittelmeerraum ist die Erwärmung der Meere ein Schlüsselfaktor für die Entwicklung plötzlicher Regenstürme und Sturzfluten im Spätsommer an den Küsten Frankreichs, Italiens und Spaniens.

In größerem Maßstab sind die hohen Wassertemperaturen in den tropischen Ozeanen die Ursache für extreme Wetterereignisse wie Hurrikane. Dabei wird so viel Energie zwischen dem Ozean und der Atmosphäre ausgetauscht, dass die Oberflächentemperatur des Meeres in Folge eines großen Hurrikans deutlich sinken kann.

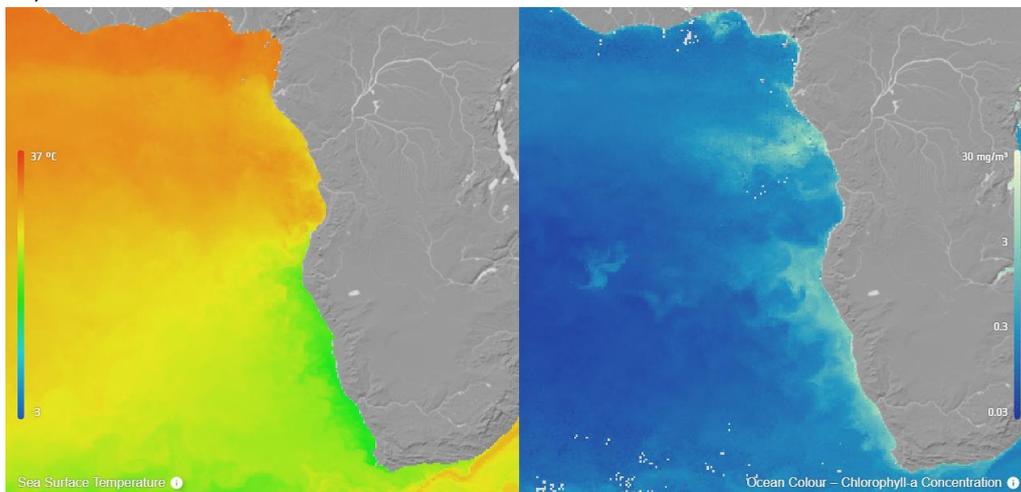
Karten der Meeresoberflächentemperatur zeigen nicht nur warme und kalte Strömungen, sondern auch, an welchen Stellen kaltes Wasser aufsteigt, d. h. aus der Tiefsee an die Oberfläche gelangt. Dies geschieht an Orten, an welchen das Oberflächenwasser durch die vorherrschenden Winde an die Küste gedrückt wird.

Die Überwachung des Ozeans

Es ist wahrscheinlich, dass sich die oberste Schicht des Ozeans seit Mitte des neunzehnten Jahrhunderts erwärmt hat. Allerdings sind Wissenschaftler erst seit den 70er Jahren in der Lage, die Erwärmung der Meeresoberfläche vom Weltraum aus zu messen. Satelliten messen mit ihren Infrarotkameras die Meerestemperatur mit einer Genauigkeit von einigen Zehntel Grad Celsius.

Einige dieser Satelliten sind mit Sensoren ausgerüstet, die sehr genaue Messungen für einen kleinen Bereich des Ozeans zu einem bestimmten Zeitpunkt liefern. Andere Satelliten messen die Durchschnittstemperatur eines größeren Gebiets und können auf diese Weise von Tag zu Tag Daten für die gesamte Erde sammeln.

Klimawissenschaftler haben Informationen der Sensoren auf einer Reihe von Satelliten kombiniert, um zuverlässige Daten von hoher Qualität zu erhalten, die verraten, wie sich der Ozean in den letzten Jahren verändert hat.

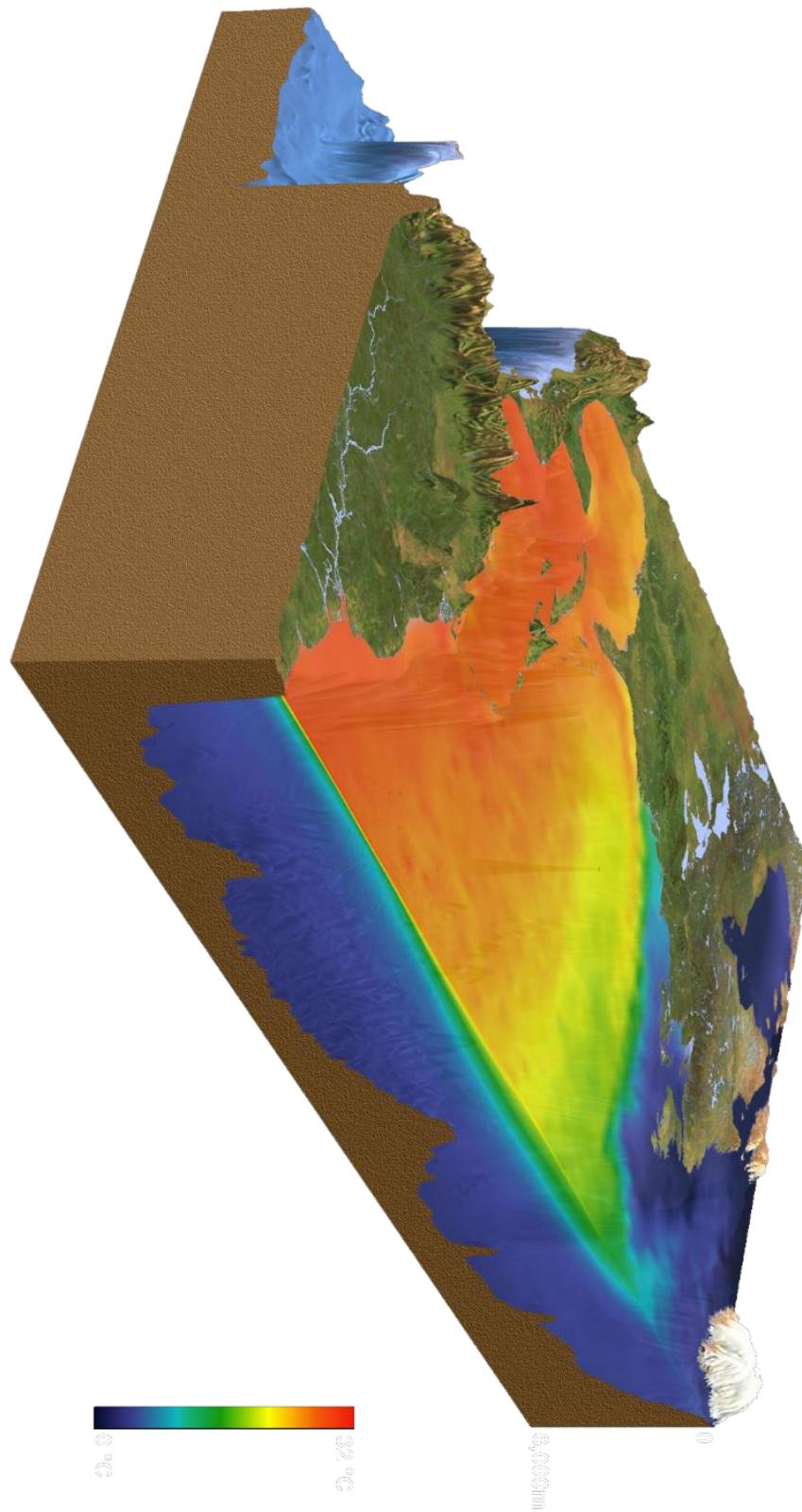


Temperatur der Meeresoberfläche und Chlorophyllgehalt des Meeres entlang der afrikanischen Küste. Das kalte Auftriebswasser transportiert Nährstoffe vom Meeresboden, von denen das Plankton lebt. (QUELLE: ESA CCI)

Die Datensätze enthalten nicht ausschließlich Temperaturen, sondern auch Variablen wie Salzgehalt, Meeresspiegel, Wellenhöhe und Chlorophyllgehalt. Anhand des Chlorophyllgehalts ist es möglich die Fülle des Phytoplanktons an der Basis der ozeanischen Nahrungskette zu bestimmen.

Merkblatt 2: TEMPERATUR UND TIEFE DES OZEANS

Querschnitt durch den Nordatlantik, der zeigt, wie die Meerestemperatur an der Oberfläche und in der Tiefe variiert (Quelle: Planetary Visions)



Links

ESA Quellen

Webanwendung *Climate from Space - Klima aus dem Weltraum*

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

Klima für Schulen

<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>

Lehren durch Weltraum

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

Erforschung des Golfstroms mit LEO Works

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Weather_EN/SEM29YK1YHH_0.html

ESA-Weltraumprojekte

ESA Climate Office - ESA-Klimabehörde

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

Raum für unser Klima

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

Die Erdbeobachtungsmissionen der ESA

www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth

Erforscher der Erde

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers

Kopernikus Sentinels – Wächter

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

SMOS - Bodenfeuchte und Salzgehalt des Ozeans

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/New_maps_of_salinity_reveal_the_impact_of_climate_variability_on_oceans

Zusätzliche Quellen

Kartierung salzhaltiger Gewässer

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Mapping_salty_waters

Video zur Temperatur der Meeresoberfläche

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/09/Sea-surface_temperature#.X9oKgkStwEY.link

Weitere Videos zur Erde aus dem Weltraum

http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme

ESA-Kinder

https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate_change/Climate_change