

Sekundarstufe
11-14



Bildungsressourcenpaket

EINE PASSAGE ÖFFNET SICH

Arktisches Meereis und Klimawandel

Lehrerhandbuch
und Schüler*Innen-Arbeitsblätter



Übersicht	Seite 3
Zusammenfassung der Aktivitäten	Seite 5
Klimaüberwachung aus dem Weltraum	Seite 8
Meereis und Klima: Hintergrundinformationen	Seite 9
Aktivität 1: WIE SCHNELL SCHMILZT MEEREIS?	Seite 13
Aktivität 2: OZEANTEMPERATUR UND EISSCHMELZRATE	Seite 16
Aktivität 3: DIE NORDWESTPASSAGE	Seite 21
Schüler*Innen- (SuS) Arbeitsblatt 1	Seite 25
SuS-Arbeitsblatt 2	Seite 28
SuS-Arbeitsblatt 3	Seite 32
Informationsblatt 1	Seite 35
Informationsblatt 2	Seite 38
Informationsblatt 3	Seite 41
Links	Seite 42
Anhang: HAST DU DAS GEWUSST?	Seite 43

Klimawandel-Initiative Bildungsressourcenpaket –EINE PASSAGE ÖFFNET SICH
<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/>

Produziert vom ESA Climate office
Copyright © European Space Agency 2020

EINE PASSAGE ÖFFNET SICH: Übersicht

Das arktische Meereis und der Klimawandel

Schnelle Fakten

Fächer: Geographie, Geowissenschaften, Physik, Chemie

Altersgruppe: 11–14 Jahre

Aufgabenstellung: lesen, mathematische Modelle, Datenanalyse, Diskussion

Komplexität: mittel bis hoch

Erforderliche Unterrichtszeit: 4 Stunden

Kosten: niedrig (0–20 Euro)

Ort: drinnen

Hilfsmittel: Internet, Tabellenkalkulationssoftware

Stichworte: Meereis, Klimawandel, Arktische Verstärkung, latente Wärme, Albedo, Satellit

Kurzbeschreibung

In dieser Reihe von Aktivitäten entdecken die SuS die wichtige Rolle, die das arktische Meereis im Klimasystem der Erde spielt. Die Aktivitäten werden in Anlehnung an die Nordwestpassage durchgeführt.

Die erste Aufgabe ist eine mathematische Untersuchung der Meereisschmelzrate, um zu veranschaulichen, was mit arktischer Verstärkung gemeint ist.

Eine praktische Untersuchung bietet die Gelegenheit darüber zu diskutieren, wie Modelle in der Wissenschaft verwendet werden und dabei die Schwierigkeiten bei der Messung und Vorhersage der Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Anschließend verwenden die SuS die Webanwendung *Klima aus dem Weltraum*, um saisonale und langfristige Trends in der Meereisausdehnung und der Temperaturen der Meeresoberfläche zu untersuchen.

Lernziel

Nachdem die SuS diese Aktivitäten durchgearbeitet haben, können sie,

-erklären, wie die unterschiedliche Albedo von Eis und Ozean zu einer arktischen Verstärkung führt und welche Auswirkungen dies auf den Klimawandel hat.

-ein mathematisches Modell verwenden, um die Auswirkungen verschiedener Bedingungen auf das Schmelzen des Meereises zu untersuchen.

- ein experimentelles Modell und die reale Welt in Beziehung zueinander setzen und es bewerten.

- Bilder analysieren, um Daten über das Schmelzen von Eis zu erhalten.
- die Herausforderungen beim Sammeln von Daten zur Beschreibung und Vorhersage der Auswirkungen des Klimawandels diskutieren.
- die Webanwendung *Klima aus dem Weltraum (Climate from Space)* verwenden, um Veränderungen in der arktischen Region zu untersuchen.
- Veränderungen im saisonalen Muster der Meereisausdehnung mit Veränderungen der Meeresoberflächentemperaturen in Beziehung zueinander setzen.
- Gründe für Veränderungen über verschiedene Zeitskalen nennen.

Zusammenfassung der Aktivitäten

	Titel	Beschreibung	Aufgaben und Ergebnisse	Vorkenntnisse	Zeit
1	Wie schnell schmilzt das Meereis?	Einleitende, szenische Geschichte, gefolgt von einer mathematischen Untersuchung der Schmelzraten	Erklärt, wie die unterschiedliche Albedo von Eis und Ozean zu einer arktischen Verstärkung führt und erläutert dessen Auswirkung auf den Klimawandel. Untersucht anhand eines mathematischen Modells die Auswirkungen unterschiedlicher Bedingungen auf das Schmelzen des Meereises.	Das Prinzip der Energieerhaltung muss bekannt sein	1 Stunde
2	Ozeantemperatur und Eisschmelzrate.	Praktische Aktivität mit einem Smartphone, um den Einsatz eines Satelliten zur Überwachung der Ausdehnung des Meereises zu gestalten	Setzt ein experimentelles Modell mit der realen Welt in Beziehung zueinander und bewertet es. Analysiert Bilder, um Daten über das Schmelzen von Eis zu erhalten. Diskutiert die Herausforderungen beim Sammeln von Daten zur Beschreibung und Vorhersage der Auswirkungen des Klimawandels.	Keine	2 Stunden
3	Die Nordwestpassage	Untersuchung von Langzeitdaten zu Meereis- und Meeresoberflächentemperatur in der Arktis	Verwendet die Webanwendung <i>Klima aus dem Weltraum</i> , um Veränderungen in der arktischen Region zu untersuchen. Setzt Veränderungen im saisonalen Muster der Meereisausdehnung mit Veränderungen der Meeresoberflächentemperatur zueinander in Beziehung. Nennt Gründe für die Veränderungen über verschiedene Zeitskalen.	Keine	1 Stunde

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 mit 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 *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. Wenn Sie die Seiten, die sich die SuS ansehen können, nicht einschränken können oder möchten, erinnern Sie sie an ihre lokalen Regeln zur Internetsicherheit.

Klimaüberwachung aus dem Weltraum

ESA Satelliten spielen eine wichtige Rolle bei der Überwachung des Klimawandels. *Klima aus dem Weltraum (Climate from Space)* (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.

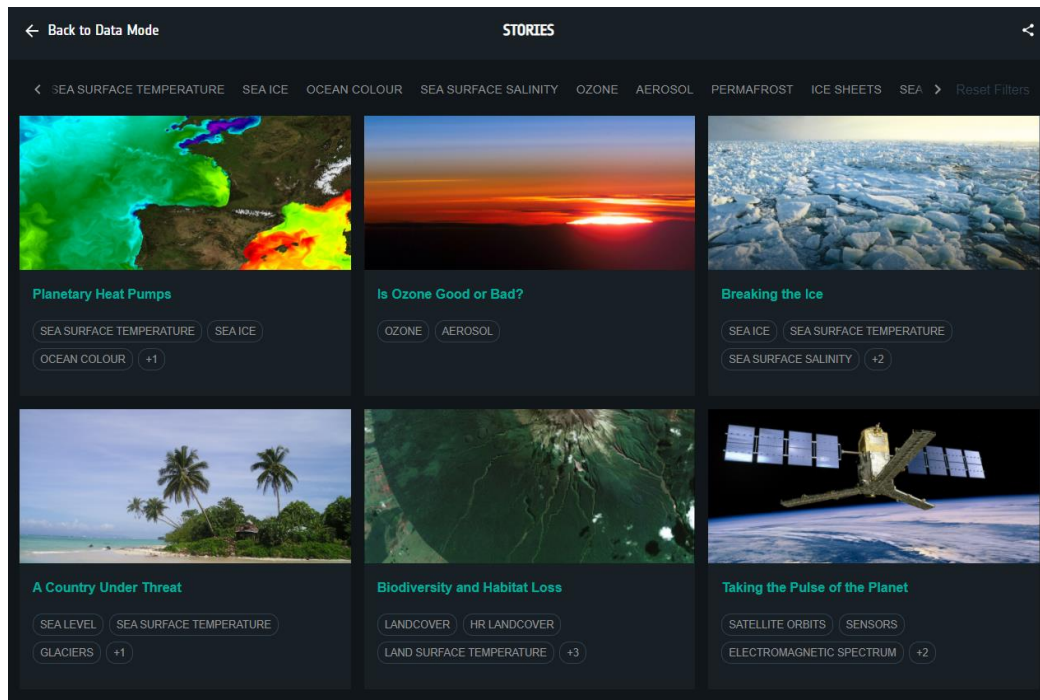


Abbildung 1: Klimageschichten aus dem Weltraum (Quelle: ESA CCI)

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.

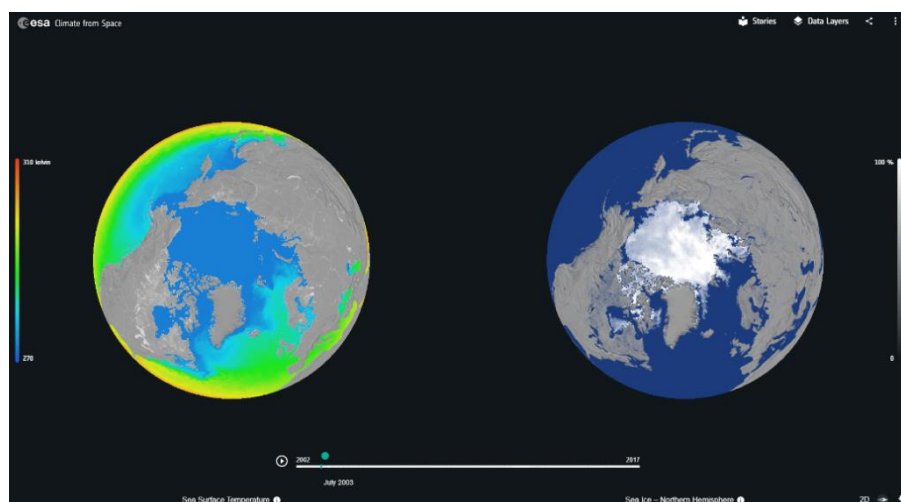


Abbildung 1: Erforschung von Meeresoberflächentemperaturen und Meereisausdehnung in der Webanwendung *Climate from Space* (Quelle: ESA CCI)

Meereis und Klima: Hintergrundinformationen

Die Kryosphäre im Klimasystem

Mit dem Begriff Kryosphäre werden alle Regionen der Erde bezeichnet, in denen Wasser an der Meeresoberfläche oder auf beziehungsweise unter der Erdoberfläche gefroren ist. Die Kryosphäre ist eine der fünf Komponenten des Klimasystems (Abbildung 3). Durch ihren Zustand wird unter anderem das globale Klima bestimmt.

Wasser spielt eine zentrale Rolle in der Kryosphäre und beeinflusst das Klima auf verschiedene Weise, wenn sein flüssiger Zustand (Wasser) sich in den festen Zustand (Eis) verwandelt und umgekehrt. Das Einfrieren gibt Wärme an die Umgebung ab und das Auftauen nimmt Wärme von ihr auf. Das Wachstum des Meereises verlangsamt jeden Winter die Abkühlung der Arktis, und sein Schmelzen verursacht einen allmählichen Anstieg der Temperatur im Sommer. Meereis ist also ein Klimaregulator.



Abbildung 2: Komponenten des Klimasystems (Quelle: ESA)

Arktische Verstärkung



Abbildung 3: Farbkontrast zwischen Meereis und offenem Ozean (Quelle: ESA)

Die Farbe des Meereises steht in starkem Kontrast zu der des offenen Ozeans, wie das Foto auf Abbildung 4 zeigt. Das hat auch Auswirkungen auf das Klima. Eis und Schnee haben eine hohe Albedo (Rückstrahlungsvermögen). Meereis kann bis zu 90 % des einfallenden Sonnenlichts reflektieren, so dass nur ein kleiner Teil der Sonnenenergie, die die Erde erreicht die mit weißem Eis oder Schnee bedeckten Oberflächen erwärmt. Durch das Verschwinden des Meereises, absorbiert die Erde

mehr Energie von der Sonne, wodurch die globale Erwärmung beschleunigt und ein erhöhtes Schmelzen des Meereises verursacht wird. Dieses Phänomen wird als arktische Verstärkung bezeichnet. Meereis schließt Luftblasen ein. Dadurch wird es

zu einem guten Isolator. Es hält das Meer darunter, wie eine Schwimmbadabdeckung oder Decke, kühler als das freiliegende Wasser. Dieser Effekt reduziert des Weiteren die Erwärmung des Arktischen Ozeans.

Die ozeanische thermohaline Zirkulation

Eine weitere komplexere Rolle des Meereises im Klimasystem ergibt sich aus der Rolle, die es bei der Bewegung des Wassers um den Globus spielt. Diese wird als ozeanische thermohaline Zirkulation bezeichnet. Die Abbildung 5 zeigt diese Zirkulation im Atlantischen Ozean.

Salziges Meerwasser ist dichter als Süßwasser. Wenn Meerwasser gefriert, verbleibt das Salz im ungefrorenen Wasser, wodurch sich dessen Dichte weiter erhöht. Dieses salzhaltigere Wasser sinkt auf den Meeresboden und treibt die weiträumige Zirkulation von kühlem arktischem Wasser in Richtung der Tropen und von warmem Wasser aus den Tropen in Richtung der Arktis an.

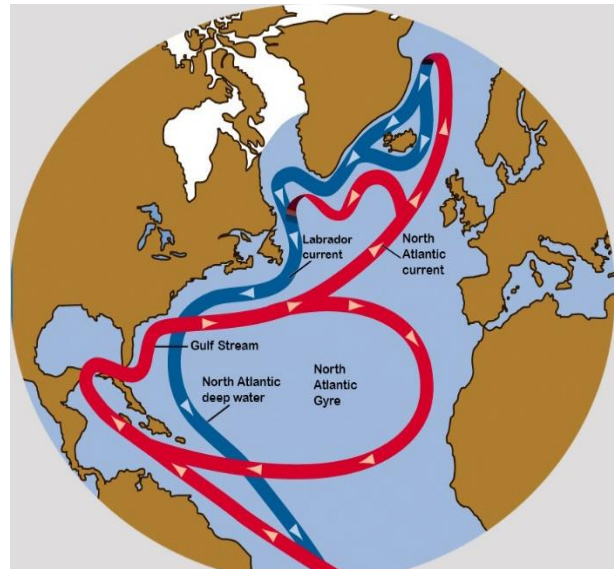


Abbildung 4: Die thermohaline Zirkulation im Atlantischen Ozean. Rote Linien zeigen warmes Wasser, blaue Linien stellen kaltes Wasser dar, und die Pfeilspitzen zeigen die Richtung der Strömungen.

Wesentliche Klimavariablen

Wenn es um den Klimawandel geht, sprechen die meisten Menschen über das Ausmaß der globalen Erwärmung und sind sich darüber bewusst, dass viele Länder daran arbeiten, diese unter 1,5°C und deutlich unter 2,0°C zu halten. Doch dies ist nicht so einfach, wie es diese scheinbar niedrigen Zahlen suggerieren.

Erstens zeigt der Durchschnittswert im Ausmaß der Erwärmung nicht die erheblichen regionalen Unterschiede. In der Arktis wird es wahrscheinlich einen überdurchschnittlichen Temperaturanstieg geben.

Zweitens werden bei einer ausschließlichen Betrachtung der Temperatur die damit verbundenen Veränderungen außer Acht gelassen. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) listet 54 Variablen auf, die vom Klima der Erde abhängen und es beschreiben. Diese physikalischen, chemischen oder biologischen Variablen (oder Gruppen von verknüpften Variablen), die zuverlässig gemessen werden können, werden als wesentliche Klimavariablen (ECVs, Essential Climate Variables) bezeichnet. Meereis ist eine davon, weil es durch viele Prozesse das Klimasystem beeinflusst.

Die Nordwestpassage

Die Nordwestpassage ist der Seeweg, der zwischen dem kanadischen Festland und den arktischen Inseln verläuft und den Atlantischen und Pazifischen Ozean verbindet. Die Nordwestpassage ist kürzer als die eisfreien Südpassagen. Sie war aber bisher nur selten befahrbar. Der Rückgang des arktischen Meereises als Folge der globalen Erwärmung könnte es der Schifffahrt ermöglichen, diese Route

regelmäßiger zu nutzen. Die Freigabe der Passage ist aber eher ein beunruhigendes Signal für die Veränderungen, die nicht nur die arktische Region, sondern auch das Klimasystem der gesamten Erde betreffen.

Aktivität 1: WIE SCHNELL SCHMILZT MEEREIS?

Diese Aufgabe wird mit einer kurzen Geschichte der Nordwestpassage eingeführt, um einen Kontext bei der Erforschung der Rolle des Meereises im Klimasystem zu schaffen. Die SuS werden dann durch eine Berechnung geleitet, bei welcher die Energieerhaltung, das Konzept der Albedo und die latente Schmelzwärme von Eis verwendet wird (wobei die beiden letzteren erklärt werden), um ein mathematisches Modell zu erstellen, anhand dessen sie die arktische Verstärkung untersuchen können.

Arbeitsmaterial

- 1 Informationsblatt (2 Seiten)
- 1 SuS-Arbeitsblatt (2 Seiten)
- Die Webanwendung *Klima aus dem Weltraum*, Geschichte: *Das brechende Eis* (optional)
- Taschenrechner und/oder Zugang zu Tabellenkalkulationssoftware
- Millimeterpapier

Aktivität

1. Lesen Sie das Informationsblatt 1 im Plenum oder bitten Sie die SuS, es in Gruppen zu lesen. Sichere Leserinnen und Leser könnten es zur Vorbereitung auf die Unterrichtsstunde lesen und drei Dinge daraus notieren und mindestens eine Frage dazu stellen.
Wenn der Text in der Klasse vorgetragen oder besprochen wird, können Sie den Text mit Material aus der Geschichte *Klima aus dem Weltraum* und der Geschichte *Das brechende Eis* ergänzen. Auf den meisten Seiten sind beeindruckende Bildgalerien der Region zu finden. Bestimmte Bilder können zur Unterstützung der Lektüre verwendet werden:
 - Dia 2: eine Gravur einer frühen Expedition
 - Dia 3: potentielle polare Schifffahrtsrouten und moderne Schiffe, die durch das Meereis fahren
 - Dia 6: Nuuk, die Hauptstadt Grönlands
 - Dia 7: Das dritte Bild in der Galerie ist künstlerischer Eindruck von CryoSat 2, der Eissatellitenmission der ESA.
2. Bitten Sie die SuS, das SuS-Arbeitsblatt 1.1 durchzuarbeiten. Dieses demonstriert, wie man die Rate der Meereisschmelze aus den Grundprinzipien ermittelt, indem es die SuS durch die Berechnung für zwei verschiedene Szenarien führt. Die Berechnung ist in dieser Gleichung zusammengefasst:

$$m_i = \frac{3600P_{in}}{L_f} (1 - C\alpha_i + (1 - C)\alpha_w)$$

Menge	Symbol	Wert	Einheiten
Rate der Meereisschmelze	m_i	zu finden	$\text{kg m}^{-2} \text{St}^{-1}$
Meereiskonzentration	C	variabel	%

Albedo von Meereis	α_i	0.85	–
Albedo von Wasser	α_w	0.07	–
Latente Schmelzwärme von Meereis	L_f	3.3×10^5	J kg^{-1}
Einfallende Sonnenstrahlung	P_{in}	variabel	W m^{-2}

3. Bitten Sie die SuS, diese Methode zu verwenden, um die Auswirkung verschiedener Werte der einfallenden Sonnenstrahlung und/oder der Meereiskonzentration auf die Schmelzrate zu untersuchen. Sie können in Gruppen arbeiten, um geeignete Werte zu bestimmen oder die in der Tabelle auf dem SuS-Arbeitsblatt 1.2 vorgeschlagenen Werte verwenden. Da die Untersuchung sich wiederholende Berechnungen beinhaltet, können die SuS die Berechnungen in der Gruppe verteilen oder eine Tabellenkalkulation einrichten, um die Berechnungen auszuführen.

4. Die Fragen auf dem SuS-Arbeitsblatt 1.2 bieten eine Struktur zur Diskussion der Untersuchungsergebnisse.

Hinweis: Die Berechnung berücksichtigt nur die vom Sonnenlicht abgestrahlte Energie und geht davon aus, dass die gesamte vom Wasser absorbierte Energie auf das Eis übertragen wird. Die SuS können die Gültigkeit dieser Annahmen diskutieren, und/oder untersuchen, welche Auswirkungen eine Änderung dieser Annahmen auf die Ergebnisse hat.

Arbeitsblattantworten und Probeergebnisse

SUS-ARBEITSBLATT 1.1

- | | | |
|--------------------------|---|----------------------------|
| 1. 1 080 000 J (1.08 MJ) | 5. a. (i) 0.7 or $\frac{7}{10}$ | (ii) 0.3 or $\frac{3}{10}$ |
| 2. 918 000 J | b. (i) 643 000 J | (ii) 22 700 J |
| 3. 162 000 J | c. 415 000 J | |
| 4. 0.491 kg | d. $1.26 \text{ kg m}^{-2} \text{ Stunde}^{-1}$ | |

SUS-ARBEITSBLATT 1.2

Die Ergebnisse unter Verwendung der vorgeschlagenen Zahlen sind in der folgenden Tabelle und in Abbildung 6 dargestellt..

Sonnen - Strahlung, die die Oberfläche erreicht / W m^{-2}	Schmelzrate / $\text{kg m}^{-2} \text{ Stunde}^{-1}$			
	Meereiskonzentration			
	100 %	70 %	40 %	10 %
300	0.491	1.26	2.02	2.79
200	0.327	0.838	1.35	1.86
100	0.164	0.419	0.674	0.929
10	0.0164	0.0419	0.0674	0.0929

1. Juni
2. Die Schmelzrate steigt mit abnehmender Konzentration.
3. Siehe Informationsblatt 1. Die Antworten könnten einen Verweis auf Folgendes enthalten: geringerer Reflektionsgrad oder arktische Verstärkung und/oder Rückkopplungseffekt; erhöhte Energieübertragung zwischen Ozean und Atmosphäre; veränderte ozeanische Zirkulation usw.

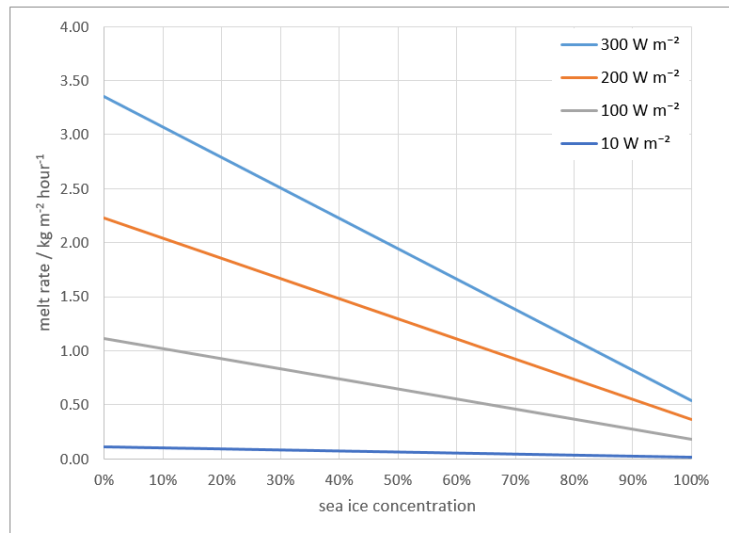


Abbildung 6: Schmelzrate gegenüber Meereiskonzentration für verschiedene Sonneneinstrahlungswerte (Quelle: ESA CCI)

Aktivität 2: OZEANTEMPERATUR UND EISSCHMELZRATE

Bei dieser Aktivität erforschen die SuS die Auswirkung von sich ändernden Meerestemperaturen auf das Schmelzen von Eis, indem sie ein Smartphone oder Tablet verwenden, um einen Satelliten zu modellieren, der das Meereis überwacht. Die späteren Teile der Übung sind offen und bieten Ihnen die Möglichkeit, die grundlegenden naturwissenschaftlichen und mathematischen Fähigkeiten zu bewerten und befähigtere SuS zu fordern, wenn sie diskutieren, was ihre Untersuchung über die Schwierigkeiten beim Sammeln zuverlässiger Klimadaten zur Modellierung von Veränderungen aufdeckt.

Arbeitsmaterial

- Ein Becher, ein kleines Tablett oder eine Schale
- Drei oder vier verschiedenfarbige Perlen oder Knöpfe
- Spielknete, um die Marker zu fixieren
- Mindestens drei Würfel oder Blöcke aus Eis ähnlicher Größe aus gefärbtem Wasser
- Ein Becher oder Krug
- Heißes und kaltes Wasser
- Ein Thermometer
- Ein Smartphone oder Tablet mit Kamera
- Ein Bücherstapel oder ein Holzklötz für die Positionierung des Smartphones/Tablets
- Eine Uhr oder ein Timer (die Uhr im Klassenzimmer reicht aus)
- Handtücher für nasse Hände und zum Auffangen von verschütteten Flüssigkeiten

Die SuS benötigen darüber hinaus:

- Eine Kopie von SUS-ARBEITSBLATT 2 (2 Seiten) pro Schüler
- Zugang zu einer ihr vertrauten Bildbearbeitungssoftware
- Einen Drucker (optional)
- Mit einem Raster bedrucktes Acetatpapier (optional)
- kariertes Papier (optional)
- Pauspapier (optional)

Hinweis: Wenn nicht mehrere Geräte verfügbar sind, könnten die praktischen Teile dieser Aktivität als Demonstration durchgeführt werden. Die Mobiltelefonwiedergabe könnte in Echtzeit auf einem Bildschirm angezeigt oder Bilder zur späteren Analyse angezeigt oder ausgedruckt werden. (Siehe auch Beispielergebnisse.)

Vorbereitung

Es ist eine gute Idee, diesen Versuch vorher auszuprobieren, um die ideale Position für das Mobiltelefon oder Tablet herauszufinden und/oder um zu testen, wie lange es dauert, bis das Eis, das verwendet werden soll, in Ihrem Klassenzimmer mit Wasser verschiedener Temperaturen merklich schmilzt. Die Verwendung von Standardwürfeln in Eiswürfelformern mit Wasser liefert schnelle Ergebnisse, aber

die kleinen Flächen sind möglicherweise schwer zu messen. Die unten angegebenen Beispielergebnisse liefern Hinweise auf die wahrscheinliche Dauer.

Gesundheit und Sicherheit

Alle Geräte müssen stabil aufgebaut werden und dürfen nicht über die Tischkanten hinausragen.

Material zum Auffangen verschütteter Flüssigkeiten muss immer bereit stehen.

Aktivität

1. In der mit der die vorherigen Aufgabe eingeleiteten Geschichte, wurde die Verwendung von Satelliten zur Überwachung der Meereisausdehnung erwähnt. Bitten Sie die SuS, herauszufinden, wie der auf SUS-ARBEITSBLATT 2 beschriebene Aufbau in dieser Aufgabe gestaltet wurde. Die Schale mit Wasser ist der Ozean. Das Eis stellt das Meereis da. Die Perlen sind GPS Referenzpunkte (Objekte mit fester geografischer Lage, die vom Weltraum aus zu sehen sind, wie Städte oder Landzungen). Die Kamera ist der Sensor auf dem Satelliten. Beachten Sie, dass die Messungen von Erdbeobachtungssatelliten in einer niedrigen Erdumlaufbahn durchgeführt werden. Die Satelliten überfliegen in regelmäßigen Abständen ein Gebiet, so dass die Aufnahme von Standbildern von Zeit zu Zeit ein besseres Modell ist als die Aufnahme von Videos. (Außerdem sind Standbilder einfacher zu analysieren)
2. Die Auswirkung unterschiedlicher Mengen an Sonnenlicht auf die Schmelzraten wurde in der vorherigen Übung untersucht. Aber was passiert, wenn sich die Temperatur des Ozeans ändert? Die Schüler werden zweifellos die Hypothese aufstellen, dass wärmeres Wasser die Schmelzrate erhöht. Aber wie groß ist der Effekt? Sie werden dieses Modell verwenden, um einige der Schwierigkeiten auszutesten, mit denen Wissenschaftler konfrontiert werden, wenn sie versuchen, diese Frage zu beantworten.
3. Lassen Sie die SuS die Daten entsprechend der Anweisungen auf dem Arbeitsblatt sammeln. Sie müssen nicht genau die gleichen Intervalle verwenden oder die Zeiten aufzeichnen, da sie diese Daten der Bilddatei entnehmen können.

Wenn die Zeit knapp ist, können Sie jede Gruppe bitten, einen einzigen Satz von Messungen durchzuführen und dabei den verschiedenen Gruppen unterschiedliche Temperaturbreiten zuzuweisen.

Bei dieser Methode nehmen die SuS ausschließlich Anfangs- und Endmessungen der Wassertemperatur vor, um daraus einen Durchschnitt zu berechnen. Darin sind einige Vermutungen versteckt, die Sie eventuell mit befähigteren SuS diskutieren möchten und welche zu weiteren Untersuchungen mit einem Temperatursensor, der an einen Datenlogger angeschlossen ist, führen könnten. Sie können andererseits bei weniger befähigten Schülern einfach die Wassertemperatur beschreiben und/oder sich auf die Zeit konzentrieren, die der Block jeweils zum Schmelzen benötigt.

4. Auf der zweiten Seite des Arbeitsblatts werden die Schüler aufgefordert, zu diskutieren, wie man die Fläche von Eis messen kann. Da es darum geht, Vergleiche anzustellen, spielt es, solange es sich um die gleichen Einheiten handelt, keine Rolle welche verwendet werden.

Den weniger befähigten SuS können Geräte oder Techniken gezeigt werden, die sie verwenden können. Die befähigteren SuS können Sie damit beauftragen, die Fläche in cm^2 zu bestimmen, indem sie genauere Messungen vornehmen und ihre Bilder skalieren. (Dabei, wäre es gut, wenn die SuS zu mindestens einem Foto ein Lineal verwenden).

Des Weiteren sind folgende erweiterungsfähige Methoden möglich:

- Das Drucken von Bildern und Nachzeichnen des Umrisses des Eisblocks auf kariertem Papier (oder das Bild des Eisblocks ausschneiden und Herumzeichnen um den Ausschnitt)
- Die Verwendung eines Blattes Aceta Gitterpapiers als Auflage auf die gedruckten Bildern
- Das Erstellen einer transparenten Gitterebene mittels einer Bildbearbeitungssoftware (z. B. durch das Scannen karierten Papiers und anschließendem Löschen des Hintergrunds) und Überlagern dieser Ebene über das Foto.
- Auswahl des geeigneten Arbeitsmaterials zur Skizzierung des Blocks in einer Bildbearbeitungssoftware und das Notieren der Abmessungen der umschließenden Form, um den Bereich zu berechnen (alternativ kann die Software die Anzahl der quadratischen Pixel in einem umschlossenen Bereich anzeigen).

5. Im Arbeitsblatt werden die SuS angeleitet, die Flächen in einer geeigneten Tabelle zu erfassen, diese dann in einem geeigneten Diagramm darzustellen und das gezeigte Muster zu beschreiben. Dies ermöglicht der Lehrkraft, die Fähigkeiten im Umgang mit Daten anhand geeigneter lokaler Kriterien zu beurteilen und wiederum ein Maß an Unterstützung zu bieten, das den Fähigkeiten jeder Gruppe angemessen ist.

SuS, die Schwierigkeiten haben, Ergebnisse zu sammeln oder gleich große Fotos zu erstellen, können die Beispielergebnisse auf den Informationsblättern 2.1 bis 2.3 analysieren.

6. Diskussionsfragen am Ende des Arbeitsblatts fordern die SuS auf, ihre Erfahrungen mit dem realen Szenario, das ihr Modell darstellt, in Beziehung miteinander zu setzen. Des Weiteren sollen die SuS überlegen, auf welche Weise das Modell das reale Szenario vereinfacht und zusätzliche Faktoren vorschlagen, welche die Schmelzrate beeinflussen. Sie können auch durchdenken, wie sie die Untersuchung anpassen könnten, um präzise numerische Ergebnisse zu erhalten. Die Diskussion der SuS kann dazu führen, ihre eigenen Erweiterungsaktivitäten vorzuschlagen.

Versuchsergebnisse

Auf den Informationsblättern 2.1 bis 2.3 werden sechs Versuchsergebnisse für Wasser bei drei verschiedenen Temperaturen gezeigt. Weitere Ergebnisse sind der Tabelle zu entnehmen.

Die verwendeten Eisscheiben wurden durch Einfrieren von gefärbtem Wasser in einem Muffin Blech (Backblech zum Backen von Muffins) hergestellt und waren ca. 1 cm dick und hatten ca. 5-6 cm Durchmesser.

Die Umgebungstemperatur betrug ca. 18°C.

Die Schale fasste etwa 300 cm³ Wasser und hatte einen Durchmesser von 21 cm, so dass der Maßstab der Fotos auf den Informationsblättern etwa 1:3 beträgt.

Zeit / Minuten	Fläche des Eises / cm ²			
	Heiß (37.5°C)	Warm (24°C)	Kühl (14°C)	Kalt (6°C)
0	20	24	25	26
1	18	21		
2	12	16		
3	7	13		
4	2	9		
5		7	17	
6		4		25
7		2		
10			13	
13				24
17			6	
20				20
24			3	
26				17
28			1	
30				14
37				11
41				9

Arbeitsblattantworten

Wie bereits erwähnt, sind die Fragen auf dem Arbeitsblatt sehr offen.

Die nachstehenden Anmerkungen geben einige Hinweise auf Ideen, auf welche die Schüler kommen können. Des Weiteren liefern sie Informationen, die Sie zur Leitung der Diskussion verwenden können.

Ergebnisse auswerten

Die offensichtlichste Schlussfolgerung ist, dass das Eis bei wärmeren Temperaturen schneller schmilzt. Ermutigen Sie die Schüler, ihre Ergebnisse genauer zu betrachten. Ändert sich die Rate mit der Zeit? Können sie die Rate anhand der Steigung des Diagramms berechnen?

Diskussion

1. Mit hoher Wahrscheinlichkeit auftretende Schwierigkeiten bestehen aus zwei Hauptkategorien: der Bestimmung des Randes des Eisblocks aus dem Foto (insbesondere wenn, unterschiedliche Ränder über und unter der Wasserlinie leicht erkennbar sind) und aus der Auflösung der Methode, die zur Bestimmung des Bereichs verwendet wurde (Rastergröße, welcher Bruchteil eines Quadrats konnte geschätzt werden; Fähigkeit, die korrekte Fläche einzuschließen; Näherungswerte aus der Form zur Berechnung der Fläche).
2. Diese Antwort ist von der vorhergehenden abhängig. Die SuS können sich auf Farbunterschiede beziehen. Es kann schwierig sein, schmutziges Eis und graue Ozeane voneinander zu unterscheiden – oder stellen Sie fest, dass es schwierig wäre, einen großen Bereich genau zu „umreißen“.
3. Die SuS können über die Wolkenbedeckung, die Größe des betroffenen Gebiets und die Fragmentierung des Eises usw. nachdenken.
4. Der größte Teil des Eises befindet sich unter der Wasseroberfläche, unter welcher es Temperaturunterschiede geben kann. Das bedeutet, dass wir gute Modelle, wie sich die Meerestemperatur mit der Tiefe ändert, benötigen. Wenn die Schüler darauf geachtet haben, ihre Ausrüstung nicht zu bewegen, können sie vielleicht erkennen, dass kaltes Wasser aus dem schmelzenden Eis unter dem warmen Wasser sitzt (siehe spätere Bilder auf Informationsblatt 2.1).
5. Die SuS können Wolkenbedeckung, Lufttemperatur, Wind, die Fragmentierung des Eises, Seegang usw. vorschlagen.
6. Die Antworten hängen von den vorgeschlagenen Faktoren ab.

Aktivität 3: DIE NORDWESTPASSAGE

Bei dieser Übung verwenden die SuS die Webanwendung *Klima aus dem Weltraum*, um Satellitendaten über die Meereisausdehnung und die Temperatur der Meeresoberfläche zu untersuchen. Des Weiteren beleuchten die SuS die jährlichen und langfristigen Trends in der Nordwestpassage einschließlich der gesamten arktischen Region. Die Aktivität kann dazu verwendet werden, das Verständnis für die wichtigsten Klimaprozesse in der Arktis zu vertiefen. Alternativ können Sie die Übung zu Beginn eines Themas über den Klimawandel oder die Arktis durchführen, um die SuS dazu anzuregen, ihr bereits vorhandenes Wissen zu teilen und Fragen zur Untersuchung vorzuschlagen.

Arbeitsmaterial

- Internet-Zugang
- Webanwendung *Klima aus dem Weltraum*
- SuS-Arbeitsblatt 3 (2 Seiten)
- Informationsblatt 3 (optional)
- Farbstifte oder Bleistifte

Aktivität

1. Zeigen Sie eine Karte der Nordwestpassage. Sie können Informationsblatt 3 für die SuS ausdrucken oder das Bild extrahieren, um es in einer Präsentationssoftware zu verwenden. Diskutieren Sie mit ihren SuS darüber, warum die Menschen im Laufe der Jahrhunderte immer wieder versucht haben, die Nordwestpassage und andere Polarrouten auszumachen und zu befahren.
2. Bitten Sie die SuS, die Webanwendung *Klima aus dem Weltraum* zu verwenden, um die Fragen 1 und 2 auf dem SuS-Arbeitsblatt 3.1 zu beantworten. Die Webanwendung ist nahezu selbsterklärend, aber vielleicht möchten Sie die Meereis-Datenschicht anzeigen oder/und die Bedienelemente demonstrieren.
3. Diskutieren Sie die Ergebnisse mit der Klasse und fragen Sie, warum in Frage 2 nicht gefragt wird, ob die Daten die Erderwärmung belegen. (Wenn die SuS Aktivität 1 nicht abgeschlossen haben, lohnt es sich, auf den Unterschied zwischen langfristigen Klimatrends und natürlichen Schwankungen hinzuweisen). Dies könnte dazu führen, dass die SuS eigenständig andere Phänomene erforschen, die Beweise für einen Klimawandel liefern. Diese können von den gelebten Erfahrungen der Großeltern bis hin zur Häufigkeit und Schwere wie z. B. von Unwettern, Dürren und Hitzewellen reichen.
4. Geben Sie den SuS etwas Zeit, um den Data Layer zur Meereiskonzentration zu untersuchen und ihn mit den Daten zur Temperatur der Meeresoberfläche in der Webanwendung *Klima aus dem Weltraum* zu vergleichen. Obwohl die Animation zwar nicht die genaue Fläche angibt, die zu einem bestimmten Zeitpunkt von Meereis bedeckt ist, ist zu beachten, dass wir jedoch sehen können, wie sie sich im Laufe eines Jahres und von Jahr zu Jahr ändert.

5. Bitten Sie die SuS, die Abbildung zur Beantwortung der Fragen 3 bis 7 des SUS-Arbeitsblattes 3.1 und 3.2 zu verwenden. Sie können entsprechend des IT-Zugangs und den Fähigkeiten der Klasse, einzeln, zu zweit oder in kleinen Gruppen arbeiten.
6. Wenn die Schüler einzeln oder zu zweit gearbeitet haben, weisen Sie sie an in Kleingruppen die Fragen am Ende des SUS-Arbeitsblattes 3.2 zu diskutieren. Dies ist eine sehr offene Aktivität, die es Ihnen ermöglicht, den SuS aufzutragen, die Diskussion auf eine bestimmte Art und Weise zu strukturieren und/oder mit einer Methode vorzutragen, die für die Lerngruppe angemessen ist und in Ihre Unterrichtssequenz passt. Zum Beispiel:
 - Wenn die SuS erst anfangen, den Klimawandel durcharbeiten, könnte jede Gruppe ihre Ideen auflisten und angeben, wie sicher sie sich bei jeder ihrer Aussagen sind. Sie könnten auch Fragen hinzufügen, die sich aus der Auswertung der Daten ergeben, um sie bei zukünftigen Sitzungen zu untersuchen.
 - Wenn Sie diese Aktivität kurz vor Erreichen des Endes einer Unterrichtseinheit plazieren, könnten Gruppen oder Einzelpersonen gebeten werden, diese Entwicklungen mit ihrem vorhandenen Wissen über den Klimawandel auf einem Papier oder Poster in Beziehung zu setzen, das zur Bewertung ihres Erlernten verwendet werden könnte.

Arbeitsblattantworten

Eisfreie Jahre

1.

Jahr	Eisfrei?	Jahr	Eisfrei?
2002	Nein	2009	Nein
2003	Nein	2010	Ja
2004	Nein	2011	Ja
2005	Nein	2012	Ja
2006	Nein	2013	Nein
2007	Ja	2014	Nein
2008	annähernd	2015	annähernd

2. Drei der vier Jahre, in denen die Nordwestpassage offen war, liegen in der letzten Dekade. Diese Angaben untermauern daher die Auffassung, dass sich das Klima der Erde verändert. Allerdings gibt es nach wie vor natürliche Schwankungen, so dass allein die Daten kein Beleg für die Erderwärmung sind.

Trends im arktischen Meereis

3. a. März/April b. September/Oktober
4. Die erhöhte Meeresoberflächentemperatur bewirkt die Abnahme von Eis.
5. 6. Siehe Abbildung 7 auf der nächsten Seite.

7. **Meereis - Gemeinsamkeiten:** Das Maximum und Minimum treten jedes Jahr in den gleichen Monaten auf. Hier gibt es einen Jahreszyklus.

Meereis - Unterschiede: Die maximale Ausdehnung ist im Durchschnitt geringer. Eine kleinere Fläche ist permanent gefroren.

Meeresoberflächentemperaturen Gemeinsamkeiten: Das Maximum und Minimum treten jedes Jahr zu den gleichen Zeiten auf (aber dieser Jahreszyklus ist dem des Meereises entgegengesetzt).

Meeresoberflächentemperaturen Unterschiede: die Maximal- und Minimaltemperaturen sind beide höher.

Die SuS können in ihren Antworten entsprechend ihrer geografischen Kenntnisse auf bestimmte Gebiete Bezug nehmen.

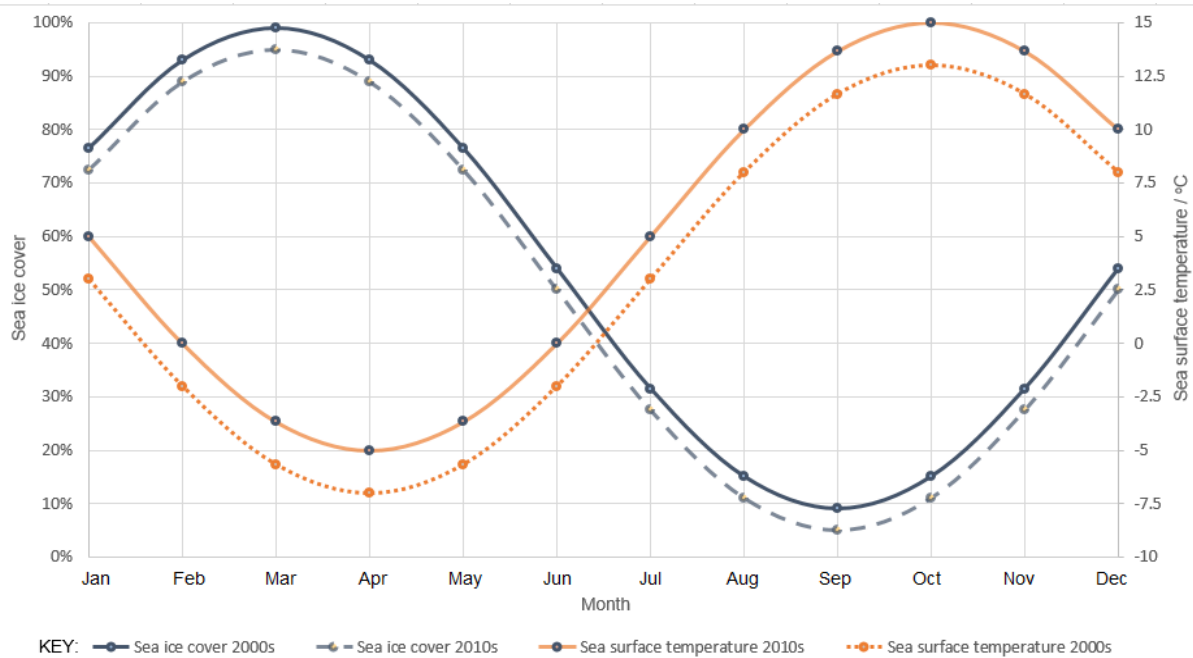


Abbildung 7: Saisonale Zyklen der Meereisausdehnung und der Temperatur der Meeresoberfläche (Quelle: ESA CCI)

Diskussion

Die Antworten der SuS auf diese Fragen können variieren. Sie sind davon abhängig, wann diese Übung angewendet wird, wie die Diskussion aufgebaut wird und welche Ergebnisse erwartet werden. Die folgenden Angaben befassen sich mit einigen Fragen, die in der Diskussion häufig auftauchen.

8 a. Wenn die Temperatur zu steigen bzw. zu sinken beginnt, sind im Laufe eines Jahres die maximale und minimale Ausdehnung des Meereises zu beobachten. Die Arktis muss sich erwärmen, damit das Eis zu schmelzen beginnt, und sie muss sich abkühlen, damit es sich wieder bildet. Dieses Phänomen könnte als kurzfristiges Beispiel genannt werden, welches demonstriert, dass das Eis in seinem "Gedächtnis" vergangene Wetter speichert. Das ist eine Eigenschaft,

welche durch CORE (Competence Orientated Research and Education) in längerfristigen Studien genutzt wird.

- b. In den letzten drei Jahrzehnten hat der Klimawandel auf die Durchschnittstemperatur der Atmosphäre eingewirkt, aber ein Großteil der überschüssigen Energie wurde von den Ozeanen absorbiert. Die arktische Region ist im Gegensatz zur Antarktis, wo das meiste Eis in Eisschilden oder Gletschern an Land liegt und nur an den Rändern des Kontinents mit dem Ozean in Berührung kommt, fast vollständig mit Meereis bedeckt. Dies ist einer der Gründe, warum sich die Veränderungen in der Arktis schneller vollzogen haben.
9. Wissenschaftler erwarten, dass die Geschwindigkeit des verschwindenden Meereises, durch die Verstärkung der Arktis beschleunigt wird (siehe Seite 8).

SuS-Arbeitsblatt 1: WIE SCHNELL SCHMILZT MEEREIS?

Die **spezifische latente Schmelzwärme** ist die Energiemenge, die benötigt wird, um 1 kg eines Festkörpers (ohne Änderung der Temperatur) zu schmelzen. Für Meereis beträgt sie $330\,000\text{ J kg}^{-1}$. Wir können dies zusammen mit den Erkenntnissen aus dem Informationsblatt *Eine Passage öffnet sich* verwenden, um die Faktoren zu untersuchen, welche das Tempo der Meereisschmelze beeinflussen.

Berechnen der Schmelzraten

1. An einem klaren Junitag erreichen in der Antarktis etwa 300 W Sonnenstrahlung jeden Quadratmeter der Erdoberfläche. Wieviel Energie ist das pro Stunde? (TIPP: Bedenke: $1\text{ W} = 1\text{ J s}^{-1}$)

2. Etwa 85 % der Strahlung, die auf Meereis fällt, wird von der Erdoberfläche wegreflektiert: Dies entspricht einer Albedo von 0,85. Wie viel Energie reflektiert ein Quadratmeter Meereis an einem klaren Junitag in einer Stunde?

3. Wieviel Energie kann das Eis noch aufnehmen?

4. Welche Masse an Eis kann diese Menge an Energie schmelzen? (TIPP: Verwendet die Informationen über die latente Schmelzwärme oben auf der Seite)

Dies ist die Schmelzrate in $\text{kg m}^{-2}\text{ Stunde}^{-1}$ an einem klaren Junitag, wenn die Meereiskonzentration 100 % beträgt (die gesamte Oberfläche ist mit Eis bedeckt).

5. Bei einer Meereiskonzentration von 70 %:
 - a. Welcher Bruchteil eines Quadratmeters ist (i) Eis? _____ (ii) offener Ozean?

- b. Wieviel von der Sonnenenergie, die in einer Stunde auf jeden Quadratmeter fällt, wird nun reflektiert von:

- (i) dem Eis auf diesem Quadratmeter?

(TIPP: Der Wert in Deiner Antwort sollte kleiner sein als der in Antwort auf Q2)

- (ii) dem Ozean in diesem Quadratmeter, wenn man berücksichtigt, dass die Albedo des Ozeans 0.07 beträgt?

- c. Wieviel Energie absorbiert der Ozean bei einer Meereiskonzentration von 70%?

d. Wie hoch ist die neue Schmelzrate, wenn all diese Energie auf das Eis übertragen wird?

Erforschung der Schmelzrate

Untersucht, wie sich die Schmelzrate ändert:

- wenn sich die Strahlungsmenge, die die Oberfläche erreicht aufgrund von Bewölkung oder einer anderen Jahreszeit ändert.
- wenn sich die Meereiskonzentration ändert.

Ihr könnt Eure Ergebnisse in einer Grafik darstellen und/oder in einer Tabelle wie folgt zusammenfassen:

Sonnenstrahlung, die die Oberfläche erreicht / $W\ m^{-2}$	Schmelzrate / $kg\ m^{-2}\ Stunde^{-1}$			
	Meereiskonzentration			
	100 %	70 %	40 %	10 %
300	Antwort auf Q4	Antwort auf Q5d		
200				
100				
10				

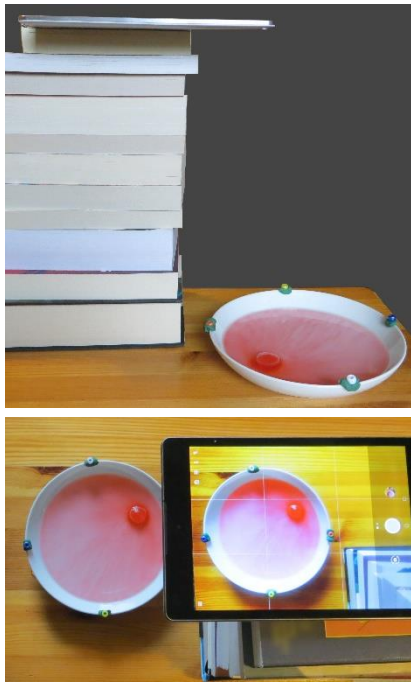
Verwendet Eure Ergebnisse und die Informationen aus *Eine Passage öffnet sich*, um die folgenden Fragen zu beantworten:

1. 10, 100, 200 und $300\ W\ m^{-2}$ sind typische Sonneneinstrahlungswerte für die arktische Region in den Monaten März, April, Mai und Juni.
In welchem Monat ist die Meereisschmelzrate am größten?

2. Beschreibt die Beziehung zwischen Meereisschmelzrate und Meereiskonzentration.

3. Erklärt in eigenen Worten, warum Meereis eine wichtige Rolle im Klimasystem spielt.

SuS-Arbeitsblatt 2: OZEANTEMPERATUR UND EISSCHMELZRATE



Verwendung eines Tablets zur Überwachung von schmelzendem Eis. Bild o.Seitenansicht, Bild u.Vogelperspektive. (Quelle: ESA)

Gesundheit und Sicherheit

- Stellt sicher, dass das Arbeitsmaterial nicht über die Tischkante hinausragt.
- Flüssigkeiten sind sofort aufzunehmen.
- Probiert nichts und führt nichts zum Mund. Haltet Eure Hände fern vom Mund.

Was Ihr benötigt:

- Eine Schüssel
- Drei oder vier Perlen (verschiedene Farben)
- Etwas Spielknete
- Einen Stapel Bücher
- Ein Smartphone oder Tablet
- Einen Becher oder Krug
- Mindestens drei Würfel oder Blöcke aus Eis (diese sind bis zur Verwendung im Gefrierfach zu lagern)
- Ein Thermometer
- Eine Uhr oder Stoppuhr

Daten sammeln

1. Verwendet die Spielknete, um die Perlen gleichmäßig rundherum auf den Rand der Schale zu fixieren. Diese dienen als Referenzpunkte, wenn die Größe Eurer Bilder geändert werden muss.
2. Positioniert das Telefon oder Tablet auf einen Bücherstapel, damit die Kamera die gesamte Schale aufnehmen kann (siehe Bilder).
3. Gießt etwas Wasser in die Schüssel und misst die Wassertemperatur.
4. Legt Euren Eisblock in das Wasser, prüft die Zeit und macht ein Foto.
5. Macht hin und wieder ein weiteres Foto (Eure Lehrerin oder Euer Lehrer kann Euch dazu Tipps geben). Versucht, die Kamera und die Schale zwischen den Aufnahmen nicht zu bewegen.
6. Notiert die Wassertemperatur, sobald Ihr Euer letztes Bild aufgenommen habt.
7. Wiederholt die Schritte 3 bis 6 mindestens zweimal und verwendet jedes Mal Wasser mit einer anderen Temperatur.

Laufnummer				
Anfangstemperatur des Wassers / °C				

Endtemperatur des Wassers / °C				
Durchschnittstemperatur des Wassers / °C				

Auswertung der Ergebnisse

1. Berechnet für jeden Durchlauf des Experiments die durchschnittliche Wassertemperatur.
2. Überprüft, ob alle Fotos den gleichen Maßstab haben, indem Ihr mit einer Bildbearbeitungssoftware den Abstand zwischen Euren Referenzpunkten oder die Größe eines um Eure Schale gezeichneten Quadrats überprüft. Verändert die Bildgröße, falls ein Foto zu groß oder zu klein ist, um es an die Größe der anderen Bilder anzupassen.
3. Eure nächste Aufgabe besteht darin, die Fläche des Eises in jedem Bild zu messen. Besprecht die folgenden Fragen innerhalb Eurer Gruppe, um zu entscheiden, wie Ihr vorgehen wollt.
 - Werdet Ihr die Messungen am Bildschirm oder an gedruckten Kopien vornehmen?
 - Stimmt die Fläche des Eises auf Euren Bildern mit der tatsächlichen Fläche des Eises überein?
Spielt das eine Rolle, falls das nicht zutrifft?
Was werdet Ihr tun, falls es eine Rolle spielt?
 - In welchen Einheiten werdet Ihr Eure Messungen vornehmen?
 - Welche Schritte werdet Ihr unternehmen, um Eure Messungen möglichst exakt durchzuführen?
4. Verwendet Eure gewählte Methode, um die Eisfläche in jedem Bild zu messen. Erfasst Eure Ergebnisse in einer geeigneten Tabelle und übertragt sie in ein passendes Diagramm.

Beschreibt das Muster, das Euer Diagramm zeigt, und nennt so viele Details wie Ihr könnt.

Diskussion

Diskutiert folgende Fragen innerhalb Eurer Gruppe.

1. Was machte es schwierig, eine genaue Messung der Fläche in diesem Modell zu erhalten?
2. Würden Wissenschaftler, die Satellitendaten verwenden, auch auf diese Probleme stoßen? Warum?
3. Gibt es noch andere Faktoren, welche die Messung der Veränderungen in der Fläche des Meereises in der Realität erschweren könnten?

4. Satelliten, die die Temperatur des Ozeans vom Weltraum aus messen, zeichnen die Oberflächentemperatur auf. Ist es somit einfach die Ozeantemperatur damit in Verbindung zu bringen, wie schnell das Meereis schmilzt? Warum?
5. Welche Faktoren können zu denen von Euch bereits untersuchten, wie Lichtintensität, Meereisfläche und Ozeantemperatur, zusätzlich eine Auswirkung auf die Meereisschmelzrate haben?
6. Welche Auswirkungen erwartet Ihr von jedem Faktor? Warum?

Untersucht eine Eurer Behauptungen, falls Ihr könnt, anhand der Erstellung eines mathematischen oder physikalischen Modells oder mit Hilfe von Internetrecherche.

SuS-Arbeitsblatt 3: DIE NORDWESTPASSAGE

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

Klickt auf das Symbol DATA LAYERS (oben rechts) und wählt SEA ICE- Nördliche Hemisphäre.

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.

Eisfreie Jahre

Lasst die Animation langsam abspielen und konzentriert Euch dabei auf das auf der Karte dargestellte Gebiet.

Die rote Linie markiert eine potenzielle Schifffahrtsroute, die als Nordwestpassage bekannt ist.



Quelle: Encyclopædia Britannica, Inc.)

- Vervollständigt die Tabelle, um die Jahre anzugeben, in denen die Nordwestpassage eisfrei war und von Schiffen befahrbar war.
- Liefere die Informationen in der Tabelle Beweise für den Klimawandel? Begründet Eure Antwort.

Jahr	Eisfrei?	Jahr	Eisfrei?
2002		2009	
2003		2010	
2004		2011	
2005		2012	
2006		2013	
2007		2014	
2008		2015	

Trends im arktischen Meereis

Keht zurück zur Webanwendung *Climate from Space*.

Klickt auf das Symbol DATA LAYERS, scrollt in der Liste nach unten zu SEA SURFACE TEMPERATURE und klickt auf COMPARE.

- In welchem Monat ist jedes Jahr Eis in der Arktis:

a. Deckt es die größte Fläche ab?

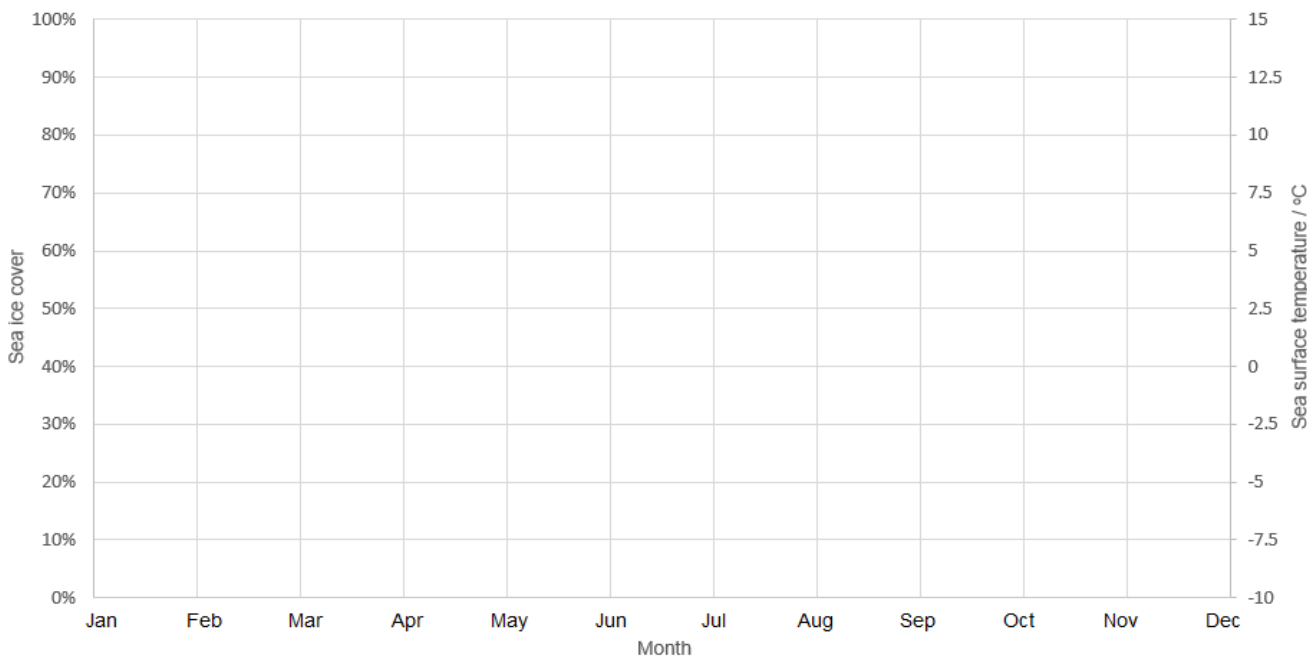
b. Deckt es die kleinste Fläche ab?

4. Wie hängt die Meereisausdehnung mit der Temperatur der Meeresoberfläche zusammen?

5. Lasst die Jahre 2000 bis 2009 unten auf den Achsen der Animation ein wenig langsamer abspielen.

a. Zeichnet eine blaue Linie, um zu zeigen, wie sich der Prozentsatz des von Meereis bedeckten Ozeans in einem typischen Jahr in diesem Jahrzehnt verändert.

b. Zeichnet eine rote Linie, um zu zeigen, wie sich die Meeresoberflächentemperatur in einem typischen Jahr in diesem Jahrzehnt verändert. Ihr müsst keine exakten Werte finden, sondern nur das allgemeine Muster aufzeigen.



KEY: Sea ice cover 2000s Sea ice cover 2010s Sea surface temperature 2010s Sea surface temperature 2000s

Bei der Meeresoberflächentemperatur kann es hilfreich sein, sich auf einen bestimmten Bereich zu konzentrieren.

6. Spielt nun die Jahre von 2010 bis zum Ende der Visualisierung ab. Fügt dem Diagramm Linien hinzu, um zu zeigen, wie sich der Prozentsatz des von Meereis bedeckten Ozeans und die Temperatur der Meeresoberfläche in diesen Jahren verändert haben.

Verwendet zwei verschiedene Farben und vergesst nicht, die Informationen zur Tasteneingabe hinzuzufügen.

Die Linien können sich überschneiden, wenn das Muster für alle oder einige Abschnitte des Jahres das Gleiche ist.

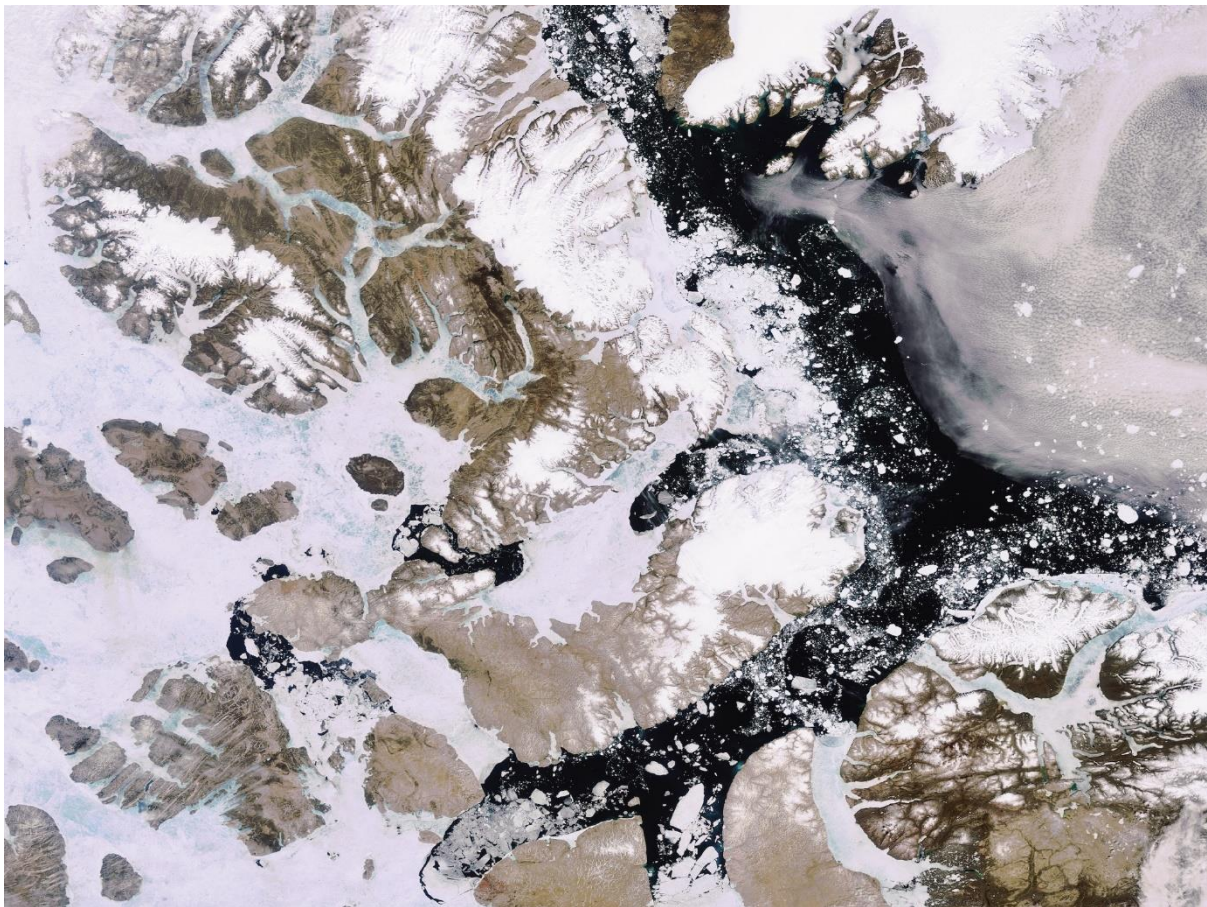
7. Beschreibt die Gemeinsamkeiten und Unterschiede innerhalb des Musters im Ablauf eines jeden Jahrzehnts.

Diskussion

8. Wodurch verändert sich die Fläche des Meereises:
(a) über die Dauer eines Jahres? (b) von Jahrzehnt zu Jahrzehnt?
9. Wie könnte sich der Prozess in den nächsten zehn Jahren oder Jahrzehnten ändern?
Erläutert Eure Behauptungen.

Informationsblatt 1: Eine Passage öffnet sich

Seit Jahrhunderten müssen Schiffe, die zwischen Europa und Asien reisen, das Land und das Eis, das die beiden Kontinente trennt, umfahren. Die so genannte Nordwestpassage zwischen dem kanadischen Festland und den arktischen Inseln wäre ein kürzerer Seeweg, aber für den größten Teil der geschichtlichen Aufzeichnungen hat sie sich, im festen Griff eines gefrorenen Meeres eingeschlossen, als undurchdringlich erwiesen. Das Eis hat viele besiegt; sogar die britische Royal Navy. Sir John Franklins Expedition von 1845 ging verloren. Achtzehn Suchtrupps, die in den folgenden dreißig Jahren ausgesandt wurden, fanden keine Spur von ihm und seiner 130-köpfigen Mannschaft. Auch seine beiden Schiffe blieben für immer verschollen. 1906 durchquerte Roald Amundsen als erster



Ein Satellitenbild des sommerlichen Meereises in der Arktis.

Der schmale Kanal zwischen dem kanadischen Festland und seinen arktischen Inseln ist normalerweise unpassierbar.

Mensch die Nordwestpassage und benötigte für seine Seefahrt in einem kleinen Boot drei Jahre.

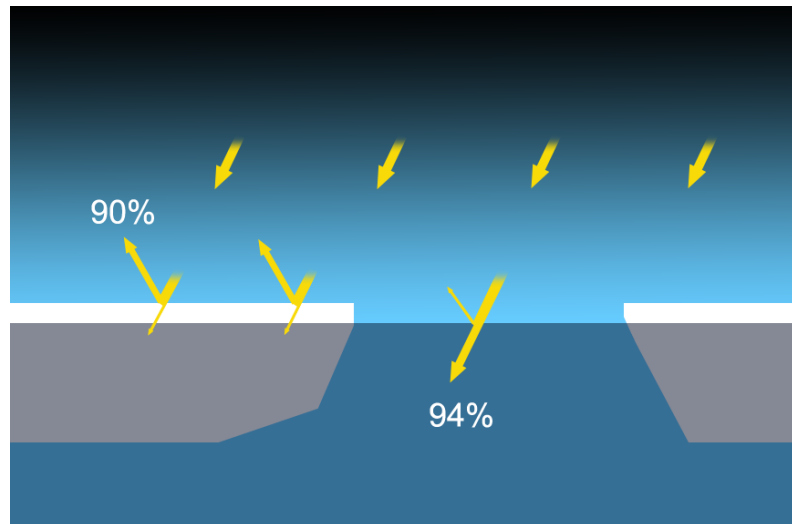
Im darauffolgenden Jahrhundert machten sich nur noch wenige Schiffe mit Hilfe von Eisbrechern auf, um die Nordwestpassage zu durchqueren. Doch zur selben Zeit begann das arktische Meereis zu schmelzen. Satellitenbilder zeigen, dass sich die Passage 2007 zum ersten Mal öffnete. Jahrzehnte zuvor wurde dies bereits von Klimamodellen vorausgesagt. Während die Öffnung der Nordwestpassage den

Warentransport von Asien nach Europa beschleunigen kann, ist sie sowohl für die Arktis als auch für unseren gesamten Planeten ein sehr besorgniserregender Meilenstein.

Arktische Erweiterung

Die Passage öffnete sich, weil die Gesamttemperatur der Erde steigt. Und, weil die Temperaturen in der Arktis zwei- bis dreimal schneller als im globalen Durchschnitt steigen.

Warum? Weißes Eis reflektiert viel Sonnenlicht, genau wie helle Kleidung, die viele Menschen im Sommer gerne tragen. Durch die Meereis-schmelze, wird das Wasser der Ozeane freigelegt. Das meiste Sonnenlicht, das auf das dunkle Meer strahlt, wird vom Meerwasser absorbiert, wodurch es sich erwärmt. Das wärmere Wasser bringt eine größere Menge des Meereises zum Schmelzen, wodurch mehr Ozeanwasser freigelegt wird, welches das Sonnenlicht absorbiert und somit das Schmelzen beschleunigt. Dies wird als arktische Verstärkung bezeichnet und ist ein Beispiel für eine positive Rückkopplungsschleife.



Eis reflektiert etwa 90% der einfallenden Sonnenstrahlung, während offenes Wasser etwa 94% absorbiert (Quelle: ESA)

In den letzten Jahren haben wärmere Meere die Fläche des Arktischen Ozeans, die jeden Winter gefriert, verringert, und die arktische Verstärkung beschleunigt.

Die Nutzung der Nordwestpassage als Schifffahrtsweg kann die Situation noch verschlimmern. Die Abgase der Schiffe geben Ruß und chemische Schadstoffe in die Luft über der Arktis ab. Der auf das Meereis fallende Ruß verdunkelt dessen Oberfläche. Dies hat zur Folge, dass das Eis mehr Sonnenlicht absorbiert und schneller schmilzt als zuvor.

Meereis und Klima

Das Meereis hält das Wasser darunter warm. Die Iglus der Inuit haben auch einen isolierenden Effekt, der die Menschen darin warm hält. Wenn das Meereis schmilzt, verschwindet die isolierende Schicht und die Wärme aus dem Ozean wird an die darüber liegende Atmosphäre abgegeben. Das geschmolzene Eis ist Süßwasser, das den Ozean um sich herum verdünnt und die Zirkulationsmuster beeinflusst, die zum Teil durch Unterschiede in der Dichte des Meerwassers angetrieben werden. (Salziges Meerwasser ist dichter als Süßwasser.) Die Auswirkungen des schmelzenden Meereises auf die Atmosphäre und den Ozean sind also komplex.

Das Meereis zeigt nicht nur, wie sich das Klima der Erde verändert, sondern spielt auch eine wichtige Rolle bei der Regulierung des Klimas. Faktoren, die dies verursachen und die wir zuverlässig verfolgen können, werden als wesentliche Klimavariablen (ECVs) bezeichnet. Die Verwendung von Satelliten gehört zu einer der Methoden, mit denen Wissenschaftler ECVs überwachen. Radarinstrumente auf bestimmten Satelliten können durch die Wolken "hindurchsehen", um die Ausdehnung und Dicke des Meereises zu messen. Die Daten dieser Instrumente zeigen, dass die Eisfläche in der Arktis in den letzten vier Jahrzehnten um 40 % zurückgegangen ist.

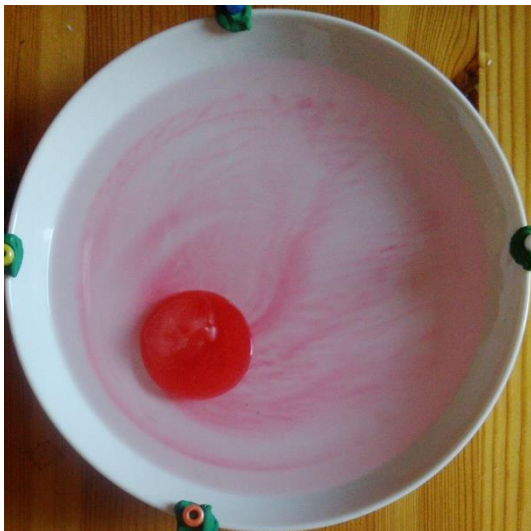
Informationsblatt 2.1: SCHMELZENDES EIS - Warmes Wasser



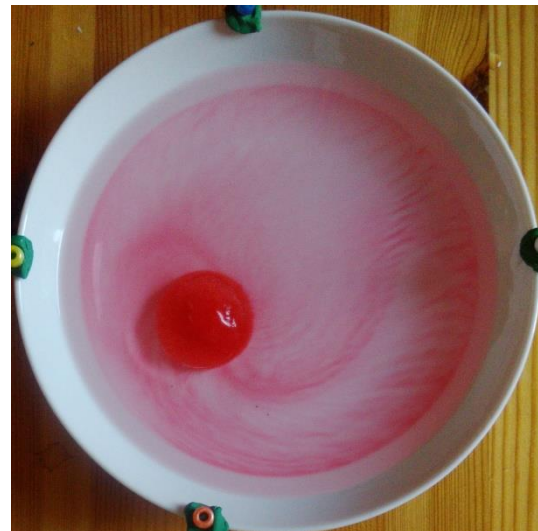
0 Minuten



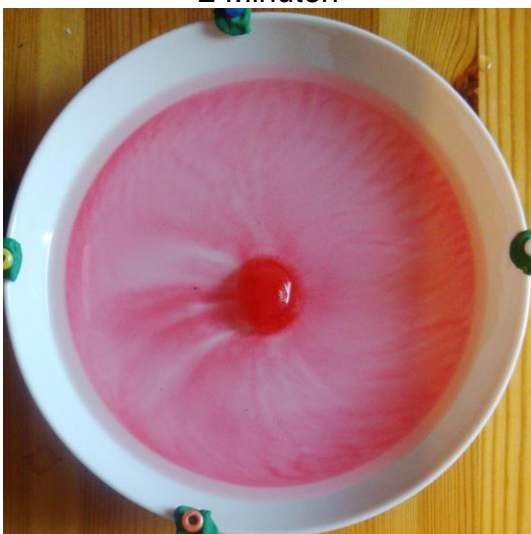
1 Minute



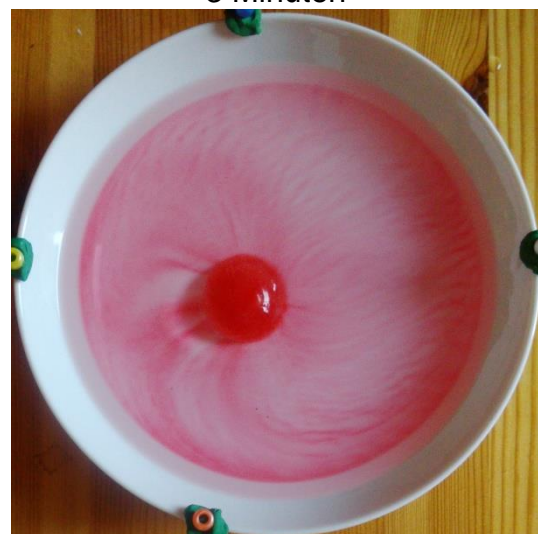
2 Minuten



3 Minuten



4 Minuten



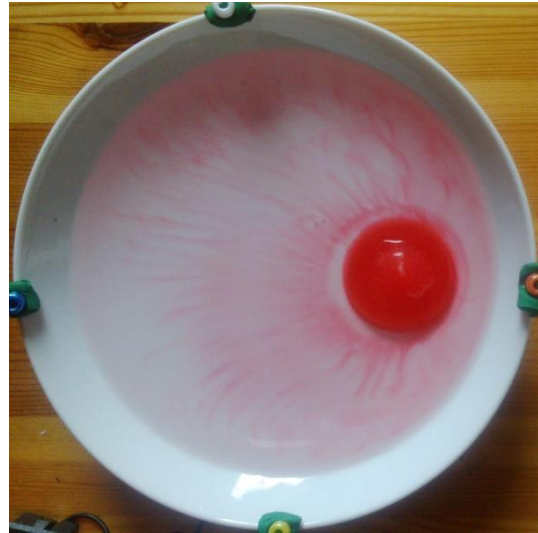
5 Minuten

(Quelle: ESA CCI)

Informationsblatt 2.2: SCHMELZENDES EIS - Kühles Wasser



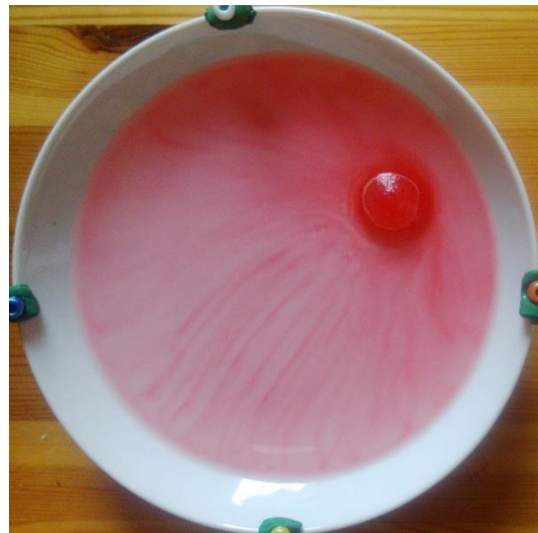
0 Minuten



5 Minuten



10 Minuten



17 Minuten



24 Minuten



28 Minuten

(Quelle: ESA CC)

Informationsblatt 2.3: SCHMELZENDES EIS – Kaltes Wasser



0 Minuten



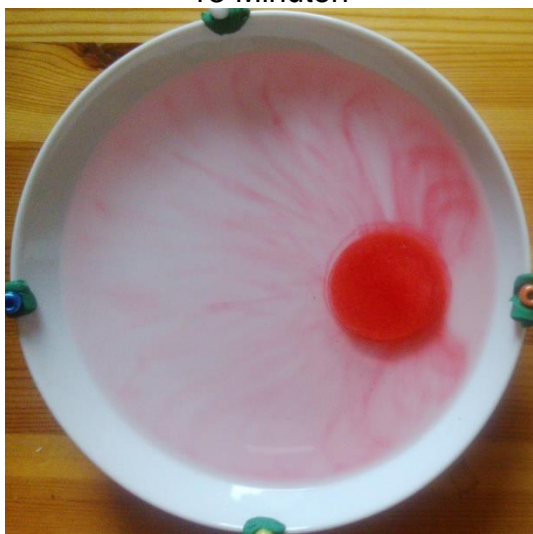
6 Minuten



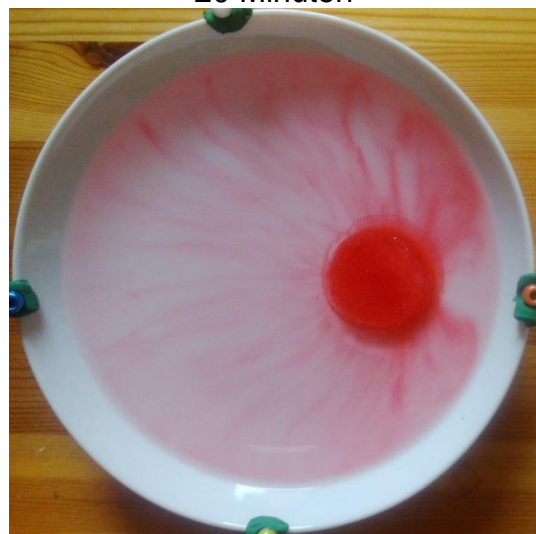
13 Minuten



20 Minuten



26 Minuten



30 Minuten

Quelle: ESA CCI)

Informationsblatt 3: DIE NORDWESTPASSAGE



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

(Quelle: Encyclopædia Britannica, Inc.)

Links

ESA Quellen

Webanwendung *Klima aus dem Weltraum* (Online-Ressource)

<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

Meereis aus dem Weltraum beobachtet

[esa.int/Education/Teachers_Corner/Sea_ice_from_space -
_Investigating Arctic sea ice and its connection to climate TEACH WITH SPA
CE G04](https://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Sea_ice_from_space_-_Investigating_Arctic_sea_ice_and_its_connection_to_climate_TEACH_WITH_SPACE_G04)

ESA Weltraumprojekte

ESA Klimabehörde

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

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_Programm
e/Earth_Explorers](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers)

Kopernikus Wächter

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

Envisat

[esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Envisat](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Envisat)

Zusätzliche Informationen

Das Eis in Grönland und der Antarktis verschwindet sechsmal schneller als prognostiziert

[esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Greenland_and_A
ntarctica_losing_ice_six_times_faster_than_expected](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Greenland_and_Antarctica_losing_ice_six_times_faster_than_expected)

Die Erde aus dem Weltraum, Videos

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

ESA Kinder

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

Anhang: HAST DU DAS GEWUSST?

Hier eine Auswahl interessanter Fakten zum Thema aufgelistet, die Sie auf verschiedene Weise verwenden können. Sie können eine Lektion mit einem von ihnen einleiten, die Ideen auf Karten zu Displays mit SuS-Arbeiten hinzufügen, einen Punkt als Diskussionsstarter auswählen und die Aussagen in einem "Richtig oder Falsch-Quiz verwenden"...

- Die Nordwestpassage ist etwa 1900 km kürzer als die Route durch den Panamakanal.
- Frisch gefallener Schnee kann eine Albedo von bis zu 0,90 haben. Diese nimmt ab, wenn der Schnee älter wird und sich in Eiskristalle verwandelt.
- Eis schwimmt, weil es eine geringere Dichte als Wasser hat. Das ist ungewöhnlich, weil die meisten Substanzen im festen Zustand dichter sind als im flüssigen.
- Die Meereiskonzentration kann mit Satelliteninstrumenten gemessen werden, die Mikrowellenstrahlung erfassen.
- Eine Flotte von Mikrowellensatelliten, die in der Lage sind, die Meereiskonzentration zu messen, ist seit mehr als vier Jahrzehnten in Betrieb.
- Viele Erdbeobachtungssatelliten befinden sich in solchen Umlaufbahnen, da sie keine Messungen direkt über dem Nord- oder Südpol vornehmen können, obwohl sie überall sonst auf der Erde "sehen" können.