



# Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

## Übersicht

Themen:	Klimawandel, Meeresoberflächentemperatur, Satellitendaten, SST-Anomalien
Fächer:	Physik, Geographie, Naturwissenschaften
Jahrgangsstufe:	9-13
Medien & Material:	interaktives browserbasiertes Grafiktool, Arbeitsblatt
Umfang:	90 min
Leitfrage:	Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

## Kompetenzen

### Sachkompetenz:

Die SuS...

- ... beschreiben und erklären Veränderungen der Meeresoberflächentemperatur (SST).
- ... nennen Gründe für Veränderungen der SST-Anomalien.
- ... beschreiben und erklären den Einfluss des Klimawandels auf die Jahresanomalien der SST.

### Methodenkompetenz:

Die SuS...

- ... bestimmen und erläutern die Veränderung der SST-Anomalien mit Hilfe eines interaktiven browser-basierten Grafiktools.
- ... verwenden SST-Daten von Satelliten, um die Veränderung der Meeresoberflächentemperatur zu berechnen.
- ... erleben den Prozess der Erkenntnisgewinnung, indem sie ihre Ergebnisse diskutieren.
- ... stellen SST-Anomalien in einem Diagramm graphisch dar.

# Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

## Urteilskompetenz:

Die SuS...

... bewerten die Aussagekraft von Anomalien und prüfen ihre Relevanz für die Erschließung der räumlichen Lebenswirklichkeit.

... bewerten eigene Arbeitsergebnisse kritisch mit Bezug auf die zugrunde gelegte Fragestellung.

... beurteilen Veränderungen der Anomalien nach fachlichen Kriterien und unter Berücksichtigung eigener Arbeitsergebnisse.

## Handlungskompetenz:

Die SuS....

... präsentieren Arbeitsergebnisse sach-, problem- und adressatenbezogen sowie fachsprachlich angemessen.

## Lehrplanbezug

Diese Unterrichtseinheit fokussiert die Methodenkompetenz. Eine kurze Ausführung wird anhand des Kernlehrplans NRW für Geographie vorgenommen. Durch das Arbeiten mit Satellitendaten bzw. SST-Daten und das Entwerfen eines Diagramms werden verschiedene Teilkompetenzen im Bereich der Methodik gefördert. Mit dieser Lerneinheit lassen sich die prozessbezogenen Kompetenzen an das Inhaltsfeld *Lebensräume und deren naturbedingte sowie anthropogen bedingte Gefährdung* anknüpfen, indem eine Beschäftigung mit Meeresoberflächentemperaturen stattfindet.

	Physik	Geographie
Baden-Württemberg	9-11	9-12
Berlin/Brandenburg	10-11	10-12
Bayern	10-12	11
Bremen	11-13	10-13
Niedersachsen	11-13	10-13
Nordrhein-Westfalen	11-13	10-13

# Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

## Weitere Informationen

Detaillierte Hintergrundinformationen zu diesem Thema befinden sich im Dokument „SST\_Hintergrundinfos“. Interessierte Lehrkräfte und Schüler:innen können sich die Hintergrundinformationen bei Bedarf anschauen. Referenzen zu den Materialien stehen ebenfalls in dem Dokument.

Interaktive Materialien zur Stunde: [https://www.iup.uni-bremen.de/carbon\\_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Wie veraendert sich die Meeresoberflaechentemperatur.html](https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Wie_veraendert_sich_die_Meeresoberflaechentemperatur.html)

Website FIS mit weiteren Lehr-Lern-Materialien zum Klimawandel: <https://www.fis.rub.de>

Für die Aufgaben 6, 8 und 9c kann ein Tabellentool wie Excel verwendet werden. Hierfür ist eine Anleitung im Arbeitsblatt enthalten. Sollte ein anderes Tabellentool verwendet werden, empfiehlt es sich, die SuS eine Anleitung für lineare Regression online recherchieren zu lassen. Alternativ kann auch ein Python-Skript verwendet werden. Die Anleitung und Lösung hierfür befindet sich im Dokument „SST\_Python“.

Die Aufgaben 8 und 9 sind als optionale Zusatzaufgaben angelegt und sind für schnelle und leistungsstärkere Schüler:innen gedacht.

## Musterlösungen

**Leitfrage: Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?**

**Aufgabe 1:** Nenne drei Gründe, warum es wichtig ist, die Meeresoberflächentemperatur (SST) zu beobachten, und drei Verfahren, mit denen sich die SST bestimmen lässt [M1].

Mögliche Gründe:

- i) Die SST ist ein wichtiger Parameter zur Bestimmung der globalen mittleren Temperatur (mittlere bodennahe Lufttemperatur über Land und Ozean) und somit zur Beobachtung des Klimawandels.
- ii) Die SST hat großen Einfluss auf die Lufttemperatur und -feuchte und ist deshalb ein wesentlicher Parameter für Wettervorhersagen und atmosphärische Modellsimulationen.
- iii) Die SST ist für die Untersuchung von Meeresströmungen wichtig.
- iv) Die SST ist für die Untersuchung mariner Ökosysteme wichtig. v) Die SST ist wichtig um Phänomene des ozeanografisch-meteorologischen Systems wie *El Niño-Southern Oscillation* zu untersuchen.

Verfahren: Messungen der Temperatur des oberflächennahen Meerwassers von Schiffen, Bojen, oder Driftern mit Thermometern. Messung der von der Meeresoberfläche abgegebenen Infrarot- oder Mikrowellenstrahlung mit Satelliten.

## Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

**Aufgabe 2:** Beschreibe, auf welcher physikalischen Grundlage sich die SST vom Satelliten bestimmen lässt [M1].

Die Meeresoberfläche emittiert Strahlung (Licht) insbesondere mit Wellenlängen im Infrarotbereich. Die abgegebene Strahlung kann näherungsweise mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz beschrieben werden. Dieses besagt unter anderem, dass je mehr Strahlung abgegeben wird, umso höher die Temperatur ist. Satelliten, die die SST aus Infrarotmessungen bestimmen, haben Sensoren, die im sog. atmosphärischen Fenster bei  $11\text{ }\mu\text{m}$  –  $12\text{ }\mu\text{m}$  sensitiv sind, da hier die Atmosphäre relativ transparent ist.

**Aufgabe 3:** In den Grafiken wird als Temperatureinheit Kelvin [K] angegeben. Nenne Eigenschaften dieser Einheit und bestimme, wie viel  $20^{\circ}\text{C}$  in Kelvin sind [M2]. Beschreibe danach die klimatologische SST (Grafik Nr.1) [M3]. Schaue Dir dabei insbesondere an, in welchen Breiten sie am höchsten bzw. am niedrigsten ist und erläutere kurz, warum dies so ist. Berechne, wie groß die Breitengrad-abhängigen Unterschiede typischerweise sind.

Kelvin: ist die Standard-Temperaturmesseinheit im Internationalen Einheitensystem (SI). Wird für Temperaturdifferenzen genutzt und gibt den absoluten Nullpunkt an. Gleiche Skala wie  $^{\circ}\text{C}$ . Umrechnung:  $20^{\circ}\text{C} = 293,15\text{ K}$

Klimatologische SST: Die klimatologische SST ist geprägt durch eine starke Breitengrad-Abhängigkeit mit höchsten Temperaturen in den Tropen und niedrigsten Temperaturen in hohen Breiten, nahe der Pole. Der Grund hierfür ist der unterschiedliche Einfallswinkel, mit dem die Sonnenstrahlung auf die Erdkugel trifft. Typischerweise ist die tropische SST etwa  $30^{\circ}\text{C}$  höher als die SST in der Nähe der Pole. Neben der Breitengrad-Abhängigkeit kann man in der klimatologischen SST auch einige Meeresströmungen erkennen, wie z. B. den Golfstrom und das Aufsteigen von kaltem Tiefenwasser vor Südafrika.

**Aufgabe 4:** Schaue Dir die interaktive Grafik Nr. 2 an [M3].

- Beschreibe, wie sich die klimatologische SST im Jahresverlauf ändert und wie das Band der höchsten SST wandert. Beschreibe dabei auch, inwieweit sich die unterschiedlichen Monate ähneln.
  - Bestimme den jährlichen Maximal- und Minimalwert der SST in der Nähe von Sardinien und gebe dazu den Breiten- und Längengrad an.
  - Diskutiere, warum die monatlichen Karten der SST große Ähnlichkeiten haben und nenne eine Methode, mit der sich die Jahreszeitlichen Unterschiede besser sichtbar machen lassen.
- a) Auf den ersten Blick ähneln die klimatologischen Monatsmittelwerte der SST stark dem klimatologischen Mittelwert (Grafik Nr. 1). Das Breitengradband der höchsten SST folgt im

## Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

Jahresverlauf etwas verzögert dem höchsten Sonnenstand. Bei genauerer Betrachtung kann man jahreszeitliche Variationen einzelner Gebiete erkennen. Die jahreszeitlichen Unterschiede sind jedoch kleiner als die Breitengradabhängigen Unterschiede.

- b) Sardinien: Länge: 10,3°O. Breite: 40,3°N. Maximum: 299,35 K bzw. 26,2°C (August). Minimum: 287,11 K bzw. 13,96°C (Februar).
- c) Die Karten sehen für alle Monate ähnlich aus, da die jahreszeitlichen Variationen deutlich kleiner sind, als die Breitengrad-abhängigen Unterschiede. Die jahreszeitlichen Unterschiede werden deutlicher, wenn man die Anomalie zum langjährigen Mittel bildet.

**Aufgabe 5:** Erkläre Deinem/r Partner/in, wie die Abweichung bzw. Anomalie der SST (Grafik Nr. 3) aus den Daten von Grafik Nr. 2 und Grafik Nr. 1 bestimmt werden kann [M3]. Diskutiert gemeinsam, welche Vor- und Nachteile es hat, die Anomalie der Monatsmittelwerte anstelle der Monatsmittelwerte selbst zu zeigen. Berechne mit Hilfe von Grafik Nr. 3 und Grafik Nr. 1 die klimatologische SST im November in der Nähe von Hawaii (Länge: -156,6°O; Breite: 20,2°N) und überprüfe das Ergebnis mit Hilfe von Grafik Nr. 2.

Für jeden Bildpunkt wird die monatliche Anomalie der SST aus der Differenz von der monatlichen SST und der mittleren SST bestimmt (Grafik Nr. 3 = Grafik Nr. 2 - Grafik Nr. 1).

Vorteil: In der Anomalie werden kleine Abweichungen vom Mittelwert sichtbar, da die dominierende Breitengrad-Abhängigkeit entfernt wird und es so möglich ist, eine Farbskala mit einem kleineren Wertebereich zu verwenden.

Nachteil: Die Anomalie zeigt nur die Differenz zum Mittelwert.

Klimatologische November SST nahe Hawaii:

298,734 K (Grafik Nr.1) + 0,619 K (Grafik Nr.3) = 299,353 K = 26,203°C (Grafik Nr. 2).

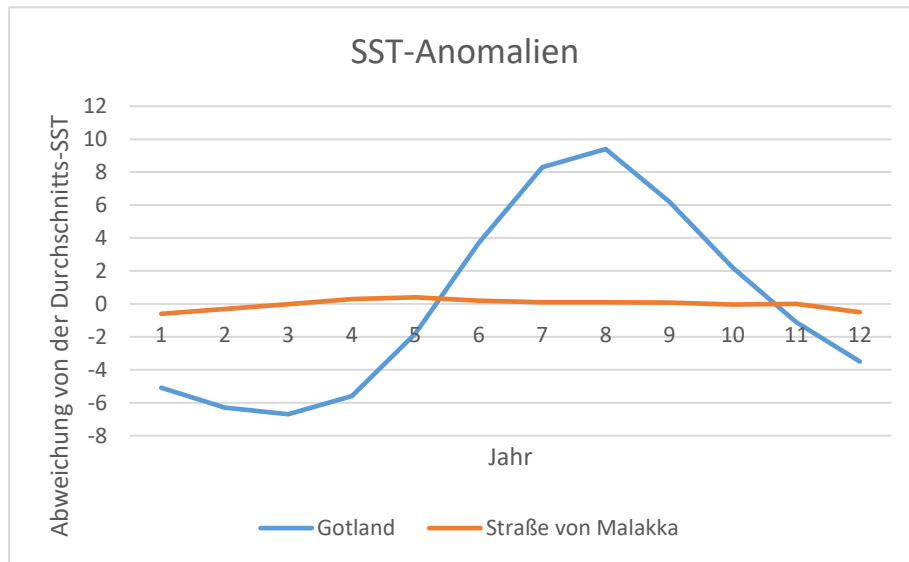
**Aufgabe 6:** Bestimme, in welchen Regionen es besonders große und besonders kleine jahreszeitliche Schwankungen der SST gibt (Grafik Nr. 3) und diskutiere mögliche Gründe [M3]. Denke dabei an Klimadiagramme unterschiedlicher Klimazonen. Zeichne den klimatologischen Jahresgang der SST-Anomalie nahe Gotland (Länge: 18,6°O, Breite 57,4°N) und in der Straße von Malakka (Länge: 100°O, Breite 3,5°N) in einem Diagramm.

Besonders große jahreszeitliche Schwankungen gibt es in mittleren Breiten insbesondere in der Nähe vieler Küsten und in den Binnenmeeren. Besonders kleine jahreszeitliche Schwankungen gibt es z. B. in den Tropen und in sehr hohen Breiten insbesondere auf offenem Ozean.

# Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

**Gründe:** Die jahreszeitliche Variation der Sonneneinstrahlung ist in mittleren Breiten am größten. Eine geringere Wassertiefe und weniger großräumige Zirkulation führt dazu, dass die Ozeanoberfläche besser erwärmt bzw. abgekühlt werden kann.

Diagramm: klimatologischer Jahresgang der SST-Anomalien nahe Gotland (18,6°O; 57,4°N) und Straße von Malakka (100°O; 3,5°N). Die folgende Abbildung wurde mit Excel erstellt:



**Aufgabe 7:** Erkläre, worin sich der Klimawandel (Grafik Nr. 4) bemerkbar macht [M3]. Schätze anhand der Karte, in welcher Größenordnung sich die globale SST pro Dekade (ein Jahrzehnt) ändert und vergleiche diese mit dem langjährigen Anstieg.

Aufgrund des Klimawandels gibt es einen Trend zu höheren SST-Werten. Dieser macht sich durch vorwiegend negative Anomalien der SST (blaue Flächen) in den ersten Jahren ab 1982 und vorwiegend positive Anomalien der SST (rote Flächen) in den letzten Jahren bis 2020 bemerkbar. Der Trend ist jedoch überlagert durch regionale und zeitliche Schwankungen.

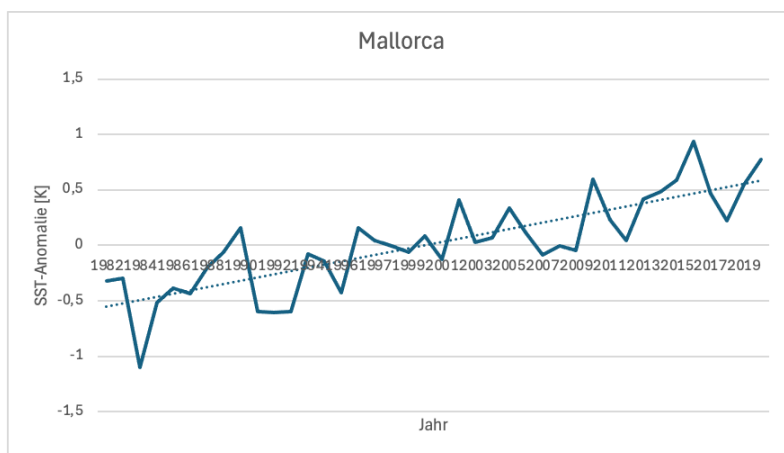
Geschätzter Trend: 0,05 K/Dekade - 0,25 K/Dekade (tatsächlich sind es 0,13 K/Dekade). Die jährlichen Schwankungen können regional  $\pm 2$  K (vereinzelt auch größere Werte) erreichen und sind insofern deutlich größer als der mittlere Anstieg pro Dekade.

## Musterlösungen der Zusatzaufgaben

**Aufgabe 8:** Bestimme die SST-Anomalie für die Position 3,2°O (Länge), 39,8°N (Breite) vor der Küste von Mallorca für alle Jahre von 1982-2020 (Grafik Nr. 4) und zeichne in Excel [M4] (oder einem anderen Tabellentool) eine Grafik aus den Daten. Berechne mit Hilfe einer linearen Regression den mittleren Anstieg pro Dekade. Vergleiche das mit dem Trend von 0.37 K pro Dekade, der sich aus Grafik Nr. 5 für das Mittelmeer ergibt und diskutiere, wie es zu dem Unterschied kommen kann [M3].

Der Anstieg beträgt 0.29 K/Dekade. Dies ist etwas weniger als der Anstieg von 0.37 K/Dekade, der für das ganze Mittelmeer beobachtet wird. Innerhalb des Mittelmeers gibt es regionale Unterschiede im Trend, die dazu führen können, dass der Trend an einzelnen Stellen vom mittleren Trend abweicht. Die regionalen Unterschiede können real sein, jedoch auch an Ungenauigkeiten der Messungen liegen.

Die folgende Abbildung wurde mit Excel erstellt:



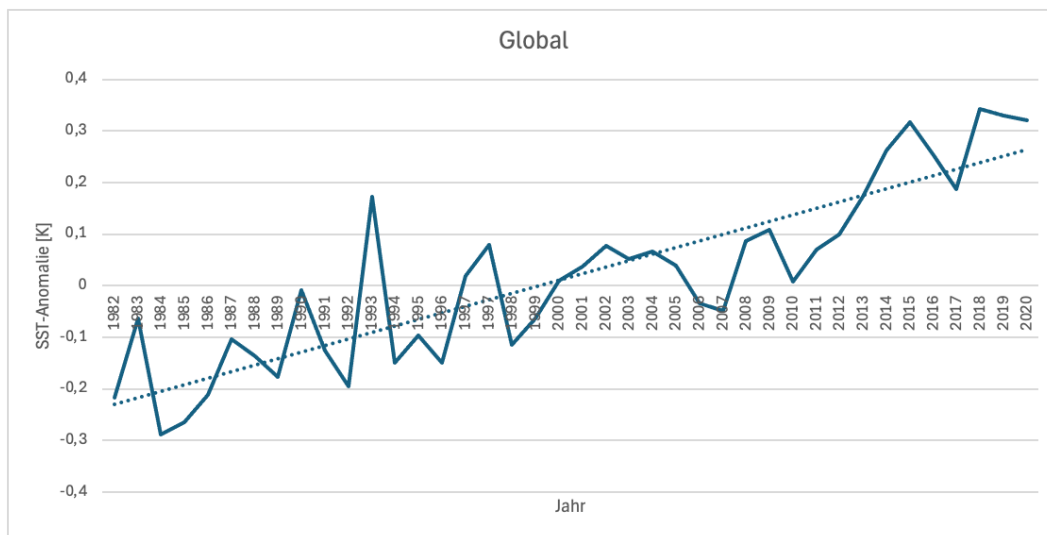
**Aufgabe 9:** Setze Dich mit Deinem/r Partner/in zusammen und schaut euch die interaktive Grafik Nr. 5 an [M3].

- Schätzt den globalen SST-Anstieg pro Dekade. Nennt eine Region, die einen kleineren Anstieg hat und zwei Regionen mit einem besonders großen Anstieg.
- Diskutiert gemeinsam, wie es zu regionalen Unterschieden kommen kann.
- Bestimmt für alle Jahre von 1982-2020 die globale SST-Anomalie und zeichnet in einem Programm wie Excel [M4] eine Grafik aus den Daten. Berechnet mit Hilfe einer linearen Regression den mittleren globalen SST-Anstieg pro Dekade. Diskutiert, warum man eine lange Zeitreihe benötigt, um den Anstieg zuverlässig schätzen zu können.

## Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

- d) Vergleichen Sie den berechneten SST-Anstieg mit dem Anstieg der globalen Oberflächentemperatur (Land und Ozean) von 0,19 K pro Dekade und diskutieren Sie, was man daraus für den Anstieg der Landoberflächentemperatur folgern kann.

- a) Geschätzter Trend: 0,11 K/Dekade - 0,16 K/Dekade (tatsächlich sind es 0,13 K/Dekade). Kleinerer Anstieg im Südpolarmeer. Besonders große Anstiege im Mittelmeer und der Ostsee.
- b) Regionale Unterschiede können z. B. durch Unterschiede in der Sonneneinstrahlung entstehen, außerdem kann die Tiefe des Gewässers und die Anbindung an großräumige Ozeanströmungen zu Unterschieden führen.
- c) Die folgende Abbildung wurde mit Excel erstellt:



Der globale SST-Anstieg beträgt 0,13 K/Dekade. Da die jährlichen Schwankungen im Vergleich zum jährlichen Anstieg groß sind benötigt man eine lange Zeitreihe, um den Anstieg zuverlässig schätzen zu können.

- d) Der SST-Anstieg ist 0,06 K/Dekade kleiner als der Anstieg der globalen Oberflächentemperatur. Daraus folgt, dass die Landoberflächentemperatur schneller ansteigt als die SST.



# Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

## Stundenverlaufsplan

### 1. Stunde

Zeit	Phase	Unterrichtsgeschehen / Methodisch-didaktischer Kommentar	Sozialform	Medien
< 5 Min	Einstieg	Die SuS entwickeln gemeinsam im Plenum die Leitfrage der Stunde: <i>Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?</i> Die Fragestellung der Stunde sollte gut sichtbar an die Tafel geschrieben werden.	Plenum	Tafel
10 Min	Erarbeitung	Erarbeitung der Grundlagen über die SST. SuS nennen drei Gründe und drei Verfahren.	EA	AB Nr. 1, 2 interaktive Grafik
10 Min	Erarbeitung	SuS kennen die Einheit Kelvin. SuS beschreiben und erläutern die klimatologische SST und berechnen den Breitengrad-abhängigen Unterschied. Erster Umgang mit einer interaktiven Grafik.	EA	AB Nr. 3, interaktive Grafik
<5 Min	Zwischensicherung	Im Plenum werden die Ergebnisse herausgearbeitet und diskutiert.	Plenum	
10 Min	Erarbeitung	SuS beschreiben die interaktive Grafik Nr. 2 und vertiefen ihr Wissen über die klimatologische SST.	EA	AB Nr. 4, interaktive Grafik
5 Min	Ausblick	Kurze Besprechung der Ergebnisse aus Aufgabe Nr. 4. Erste Beantwortung der Leitfrage durch Diskussion der Vermutungen und als Überleitung zur nächsten Stunde.	Plenum	

# Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

## 2. Stunde

Zeit	Phase	Unterrichtsgeschehen / Methodisch-didaktischer Kommentar	Sozialform	Medien
<5 Min	Einstieg	Kurze Wiederholung im Plenum, was letzte Stunde gemacht wurde. Wiederholung sorgt dafür, dass auf die Leitfrage eingegangen werden kann: <i>Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?</i> Überleitung durch Leitfrage auf AB Nr. 5	Plenum	Tafel
20 Min	Erarbeitung	SuS arbeiten kooperativ, diskutieren Vor- und Nachteile, vertiefen ihr Wissen, erstellen ein Diagramm und stellen Unterschiede heraus.	PA/EA	AB Nr. 5, 6, interaktive Grafik
5 Min	Zwischensicherung	Die Ergebnisse werden im Plenum präsentiert, verglichen und diskutiert.	Plenum	
<10 Min	Erarbeitung	SuS erklären mit Blick auf die Leitfrage, worin sich der Klimawandel bemerkbar macht.  Schnelle SuS können mit den Zusatzaufgaben anfangen.	EA	AB Nr. 7, interaktive Grafik
5 Min	Sicherung	Im Sinne des Think-Pair-Share beantworten die SuS die Leitfrage der Stunde: <i>Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?</i>	Plenum	Tafel