

Wie verändert sich die Meeresoberflächen-temperatur aufgrund des Klimawandels?

Inhalt

Hintergrundinformationen	1
Die Bedeutung der SST	1
Wie lässt sich die SST bestimmen?.....	1
Mittelwerte und Anomalien der SST	2
Weiterführende Informationen	7
Erklärungen zum interaktiven Karten-Material	8
Langjährige Mittelwerte	8
Klimatologische Monatsmittelwerte.....	9
Anomalien der klimatologischen Monatsmittelwerte	10
Anomalien der Jahresmittelwerte.....	11
Zeitreihen	11
Referenzen & weiterführende Literatur	12

Hintergrundinformationen

Die Bedeutung der SST

Die Ozeane bedecken etwa 70% der Erdoberfläche. Die Meeresoberflächentemperatur (*sea surface temperature*, SST) ist ein wichtiger Parameter zur Bestimmung der globalen mittleren Temperatur und liefert grundlegende Informationen über das globale Klimasystem und den Klimawandel [1]. Sie ist wesentlich für Wettervorhersagen und atmosphärische Modellsimulationen und auch für die Untersuchung mariner Ökosysteme [2]. Sie hat großen Einfluss auf die Lufttemperatur und -feuchte und damit auch auf die Bewegung der Luftmassen in der Erdatmosphäre. So kann z. B. eine hohe SST Wirbelstürme über dem Ozean entstehen lassen bzw. diese verstärken. SST-Daten sind besonders nützlich, um das Einsetzen von El-Niño- und La-Niña-Bedingungen zu erkennen und Monsunphänomene zu erklären [3]. Die globale mittlere SST ist seit Beginn des 20. Jahrhunderts um 0,88°C gestiegen und wird während des 21. Jahrhunderts weiter steigen [4].

Wie lässt sich die SST bestimmen?

Die SST kann man vor Ort (in situ) mit Hilfe von Thermometern vom Schiff, Bojen und Driftern bestimmen. Dies wurde z. B. schon im 17. Jahrhundert von Benjamin Franklin bei der Kartierung des Golfstroms gemacht. Seit den 1980er Jahren wurden Satellitenmessungen für die Bestimmung der SST immer wichtiger, da sie einen globalen Überblick ermöglichen [2, 3, 5]. Dabei wird die Temperatur aus Messungen von Infrarot- oder Mikrowellen-Strahlung bestimmt, die von der beobachteten Oberfläche abgestrahlt

Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

wird. Die Atmosphäre ist im infraroten Spektralbereich mit Wellenlängen ab etwa 4 μm größtenteils undurchsichtig. Es gibt jedoch einige sogenannte atmosphärische Fenster (z. B. bei etwa 11 μm -12 μm), in denen die Atmosphäre durchsichtig genug ist, um die Erdoberfläche beobachten zu können (Abbildung 1, unten). Bei diesen Wellenlängen messen z. B. auch die Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR, [6, 7]); Sensoren, die seit Ende der 1970er Jahre auf verschiedenen NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, [8, 9]) und EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, [10, 11]) Satelliten eingesetzt werden.

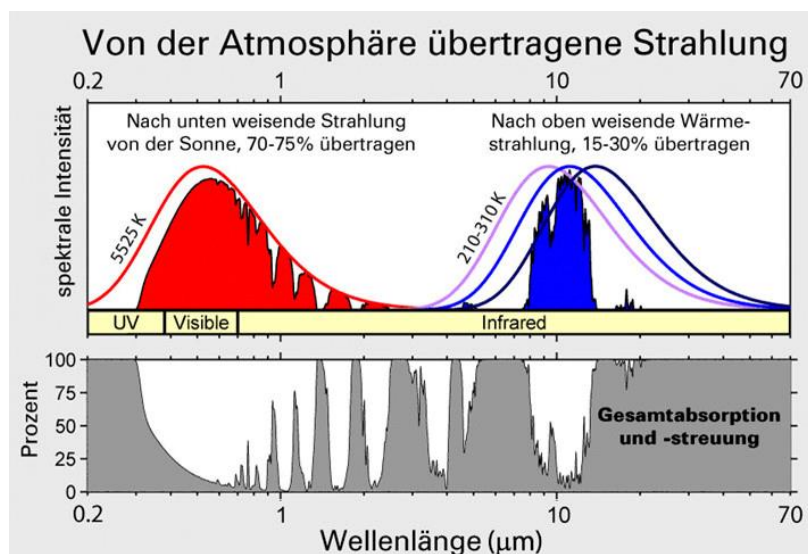


Abbildung 1: Von der Atmosphäre übertragene Strahlung als Funktion der Wellenlänge. Oben: Kurzwellige Sonnenstrahlung in rot und langwellige Wärmestrahlung der Erde und der Atmosphäre in blau. Unten: Anteil absorbierten Strahlung. Verändert nach: https://de.wikipedia.org/wiki/Idealisiertes_Treibhausmodell#/media/Datei:Atmospheric_Transmission_de.png.

Die hier verwendeten SST-Daten stammen vom Europäischen Copernicus Climate Change Service (C3S, [12, 13, 14, 15, 16]) und basieren auf Infrarot-Messungen von Satelliteninstrumenten [17, 18, 19]). Da diese Instrumente die SST u. a. nur bei wolkenfreiem Himmel messen können, entstehen Datenlücken. Die verwendeten C3S SST Daten liegen täglich auf einer regulären quadratischen Platkarte [20]. Für die interaktiven Clim4Edu Browsergrafiken wurden daraus monatliche Mittelwerte erstellt [21].

Mittelwerte und Anomalien der SST

Abbildung 2 zeigt die mittlere SST der Jahre 1982 bis 2020. Bekannte Meeresströmungen, wie z. B. der warme Golfstrom vor der Ostküste der USA [22] oder das vor der Westküste von Südafrika aufsteigende kalte Tiefenwasser [23] sind erkennbar. Auffällig ist, dass die SST in hohen Breiten Nahe der Pole etwa 30°C geringer ist als in den Tropen, da das Sonnenlicht umso schräger auf die Meeresoberfläche trifft, je weiter man sich vom Äquator entfernt.

Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

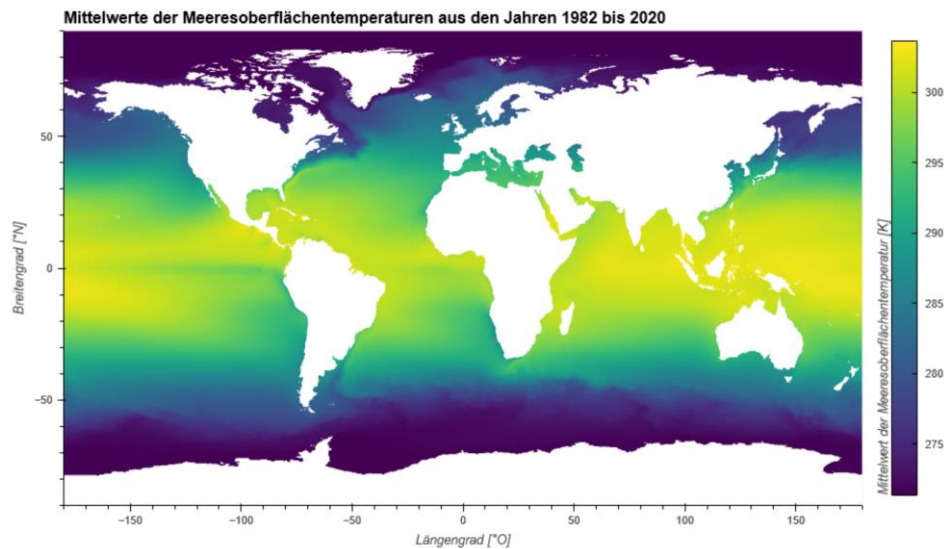


Abbildung 2: Mittelwerte der Meeresoberflächentemperaturen aus den Jahren 1982 bis 2020. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

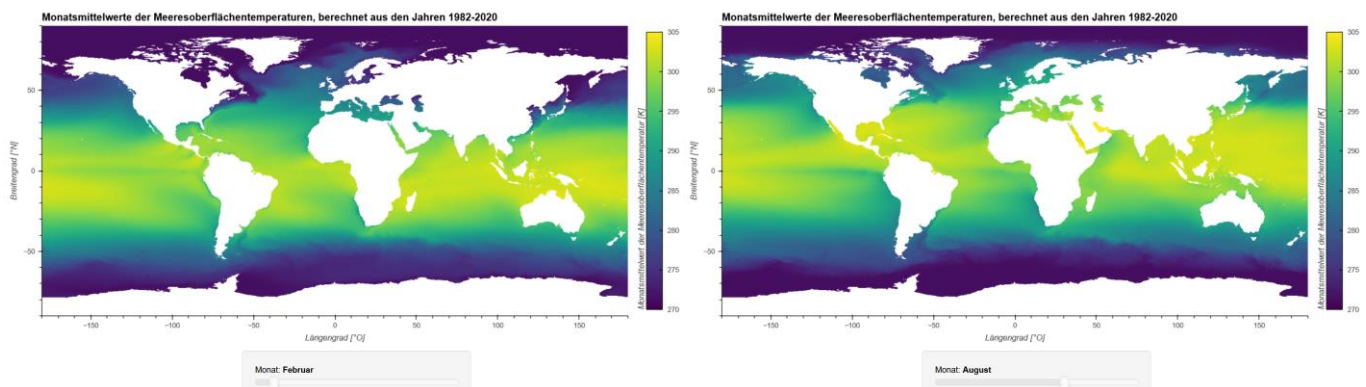


Abbildung 3: Klimatologische (mittlere) Monatsmittelwerte der Meeresoberflächentemperaturen aus den Jahren 1982 bis 2020 für Februar (links) und August (rechts). Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Trotz des Klimaabkommens von Paris 2015 und des Beschlusses, den weltweiten Temperaturanstieg möglichst auf 1,5°C zu begrenzen [24], steigen die Temperaturen immer weiter an [12]. Durch die starken jahreszeitlichen Schwankungen ist der, im Vergleich deutlich geringere, SST-Anstieg aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels in Karten allerdings schwierig zu sehen.

Um solche relativ kleinen Änderungen sichtbar zu machen, vergleicht man sie üblicherweise mit einem Normal-, oder Referenz-Zustand. Dabei wird ein mittlerer Zustand von einem konkreten Zustand subtrahiert.

Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

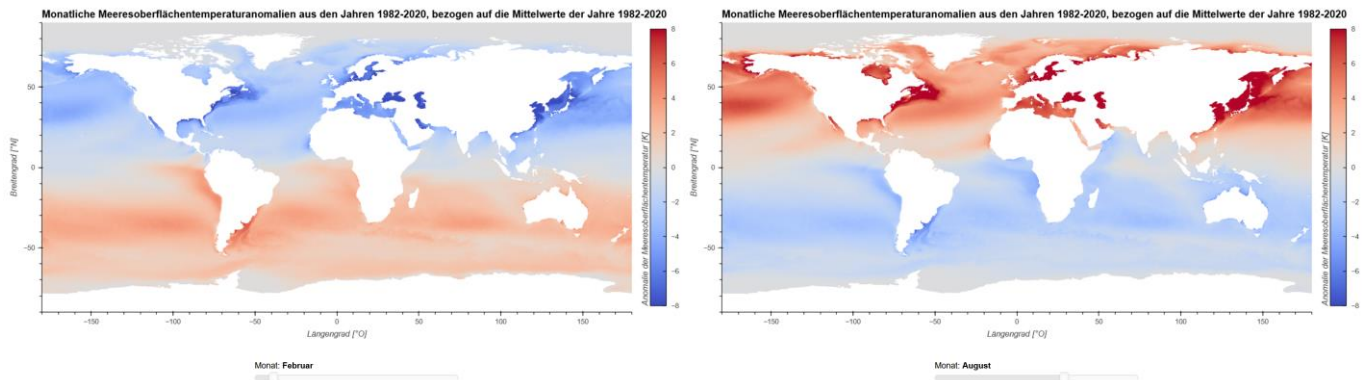


Abbildung 4: Anomalie der langjährigen Monatsmittelwerte der Meeresoberflächentemperaturen aus den Jahren 1982 bis 2020 für Februar (links) und August (rechts). Zur besseren Visualisierung wurde die Farbtabelle beschnitten. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Mit dem gleichen Verfahren kann man auch einzelne Jahresmittelwerte mit dem langjährigen Mittel (Abbildung 2) vergleichen und erhält Abbildung 5. In dieser erkennt man deutlich die Veränderungen der SST in den Jahren zwischen 1982 und 2020. In den ersten Jahren dominieren Temperaturen unterhalb des Mittels (blau), während in den letzten Jahren Temperaturen oberhalb des Mittels dominieren (rot). Die Daten zeigen: Die SST ist im Zeitraum von 1982 – 2020 im globalen Mittel um $0,013^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$ angestiegen. Es gibt jedoch regionale Unterschiede. Auf der nördlichen Hemisphäre beträgt der Anstieg $0,020^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$, auf der südlichen $0,008^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$. Besonders starke Anstiege fanden in den Binnenmeeren wie z. B. dem Mittelmeer ($0,037^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$) oder der Ostsee ($0,045^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$) statt.

Abbildung 6 zeigt den zeitlichen Verlauf der SST-Anomalie für verschiedene Regionen. Auch hier sind regionale Unterschiede und jährliche Schwankungen erkennbar, die jedoch von einem generellen Anstieg überlagert sind.

Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

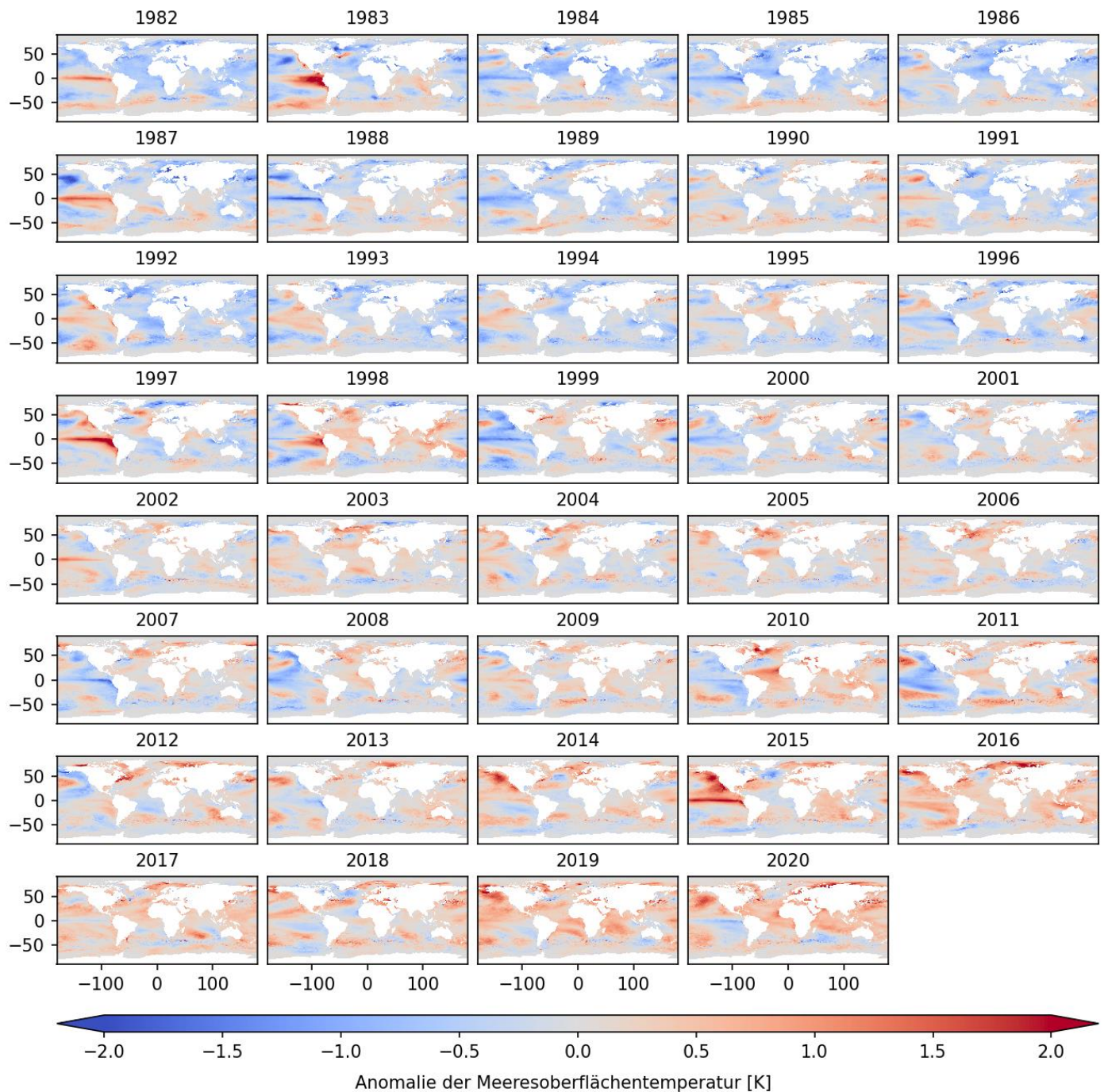


Abbildung 5: Anomalie der Jahresmittelwerte der Meeresoberflächentemperaturen der Jahre 1982 bis 2020. Zur besseren Visualisierung wurde die Farbtabelle beschnitten. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

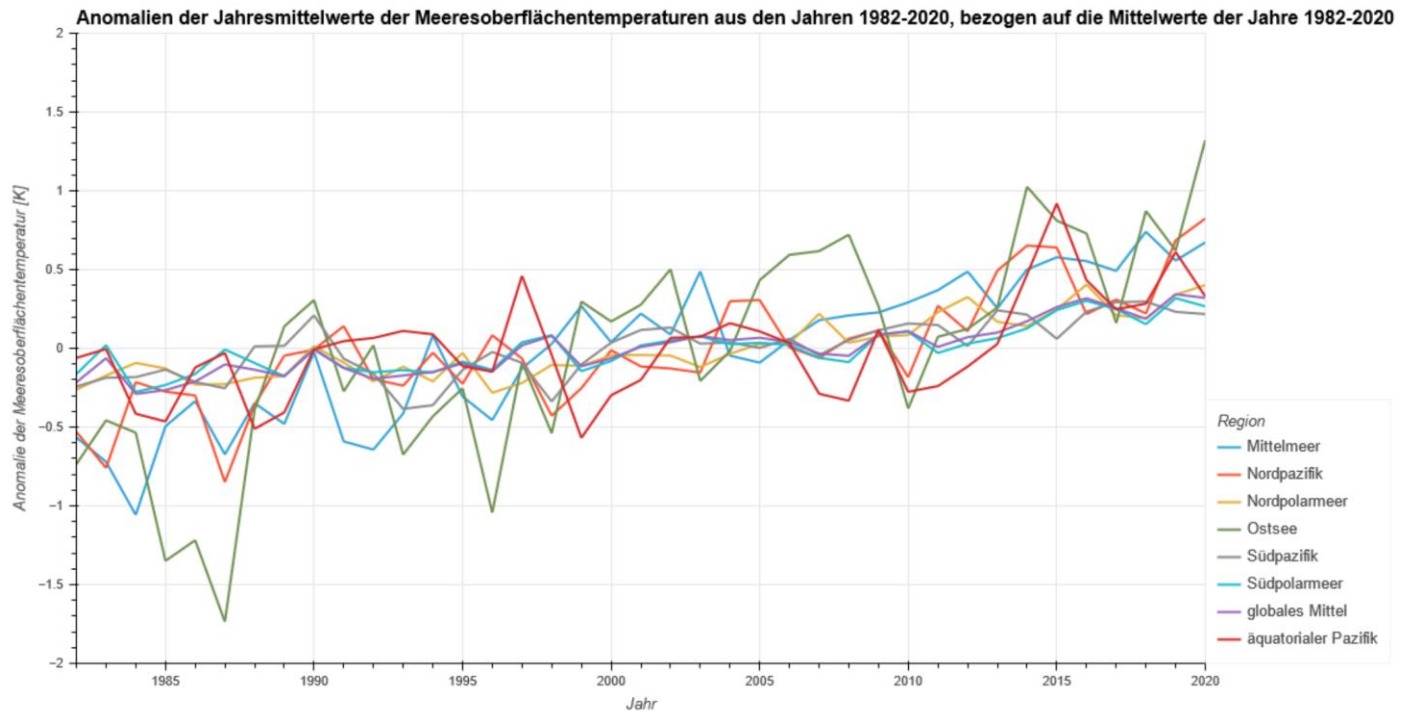


Abbildung 6: Anomalie der Jahresmittelwerte der Meeresoberflächentemperaturen der Jahren 1982 bis 2020 für verschiedene Regionen. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Abbildung 5 zeigt auch, dass es regional und jährlich große Unterschiede gibt. Neben dem generellen Anstieg der SST kann man auch Phänomene wie El Niño oder La Niña beobachten [26]. Diese unregelmäßig wiederkehrenden Erwärmungen (El Niño) oder Abkühlungen (La Niña) der SST im tropischen östlichen Pazifik führen zu Störungen der normalen Meeresströmungen und Wettermuster. Besonders betroffen sind die angrenzenden Länder von Südamerika und Süd-Ost Asien, in denen es z. B. zu Dürren, Überschwemmungen und Auswirkungen auf die Fischerei kommen kann. Abbildung 7 zeigt als Beispiel für ein ausgeprägtes El Niño-Ereignis die SST-Anomalie im tropischen östlichen Pazifik im Jahr 1997.

Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

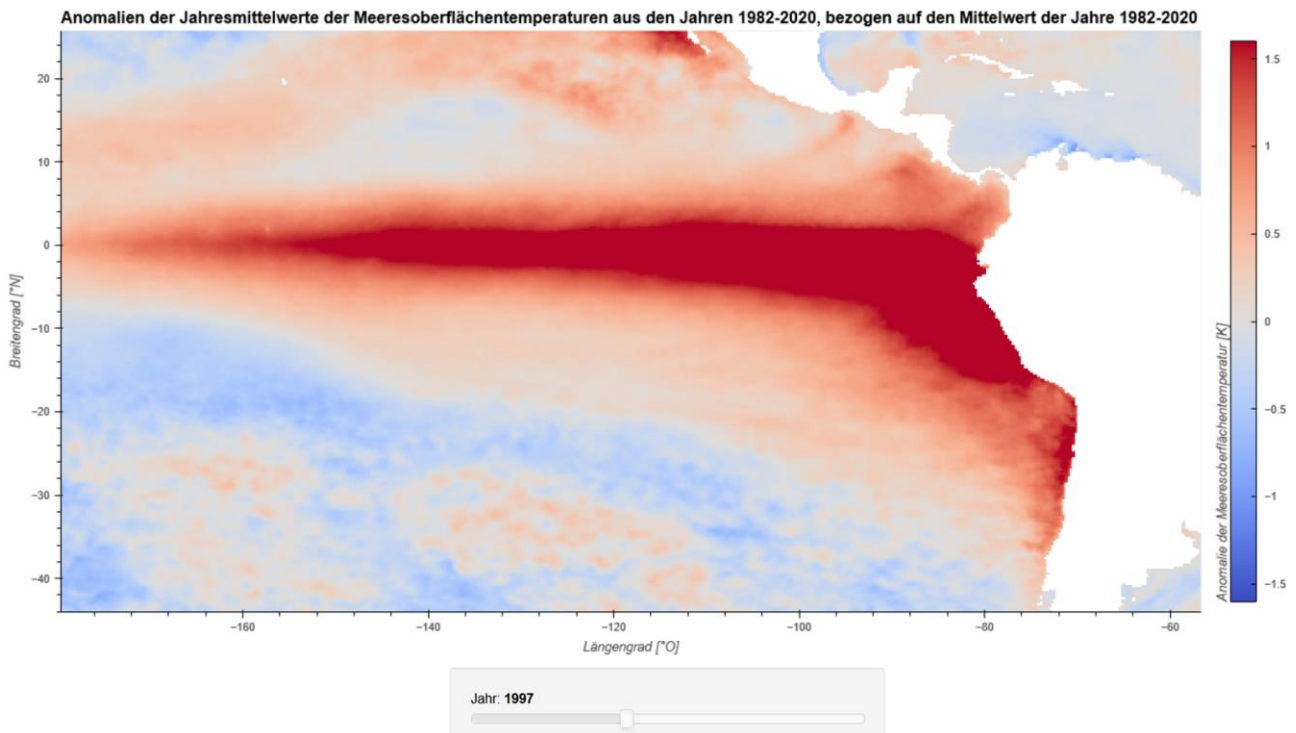


Abbildung 7: Anomalie der Meeresoberflächentemperaturen des Jahres 1997 im tropischen östlichen Pazifik mit ausgeprägtem El Niño. Zur besseren Visualisierung wurde die Farbtabelle begrenzt. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Weiterführende Informationen

Die Verfahren, mit denen der verwendete SST-Datensatz bestimmt wurde, sind komplex und werden im Detail im *Algorithm Theoretical Basis Document* und der wissenschaftlichen Literatur beschrieben [15, 16]. Der theoretische Hintergrund dieser Verfahren lässt sich mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz [27] skizzieren, welcher als Näherung für die vom Ozean abgegebene Wärmestrahlung benutzt werden kann.

Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

Erklärungen zum interaktiven Karten-Material

Für die Erarbeitung der Lernziele stehen den Nutzer:innen mehrere interaktive browserbasierte Grafiken zur Verfügung, die es ihnen ermöglichen, Schritt für Schritt verschiedene Aspekte in dem verwendeten SST-Datensatz sichtbar zu machen und quantitativ zu untersuchen. Einige der Grafiken sind recht groß, sodass es sein kann, dass der Browser etwas länger für den Download und die Darstellung benötigt. Die dem Tool zu Grunde liegende Software ist Englisch. Dementsprechend sind Tausender- und Dezimaltrennzeichen, also Punkt und Komma, vertauscht. Die interaktiven Grafiken sind unter folgendem Link abrufbar:

https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/Wie_veraendert_sich_die_Meeresoberflaechentemperatur.html

Langjährige Mittelwerte

Abbildung 8 ist eine Beispielsicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige der langjährigen (1982 – 2020) Mittelwerte der SST. Die Grafik basiert auf Daten in einer regulären quadratischen Platte [20]. Rechts neben der Farbtabelle befinden sich Schalter, um verschiedene Tools zu aktivieren oder zu deaktivieren. Diese lassen es zu, innerhalb der Grafik zu Zoomen und den Ausschnitt zu verschieben. Außerdem können mit Hilfe des *Hovertools* einzelne Werte exakt abgelesen werden. Die Grafik ist etwa 5 MB groß.

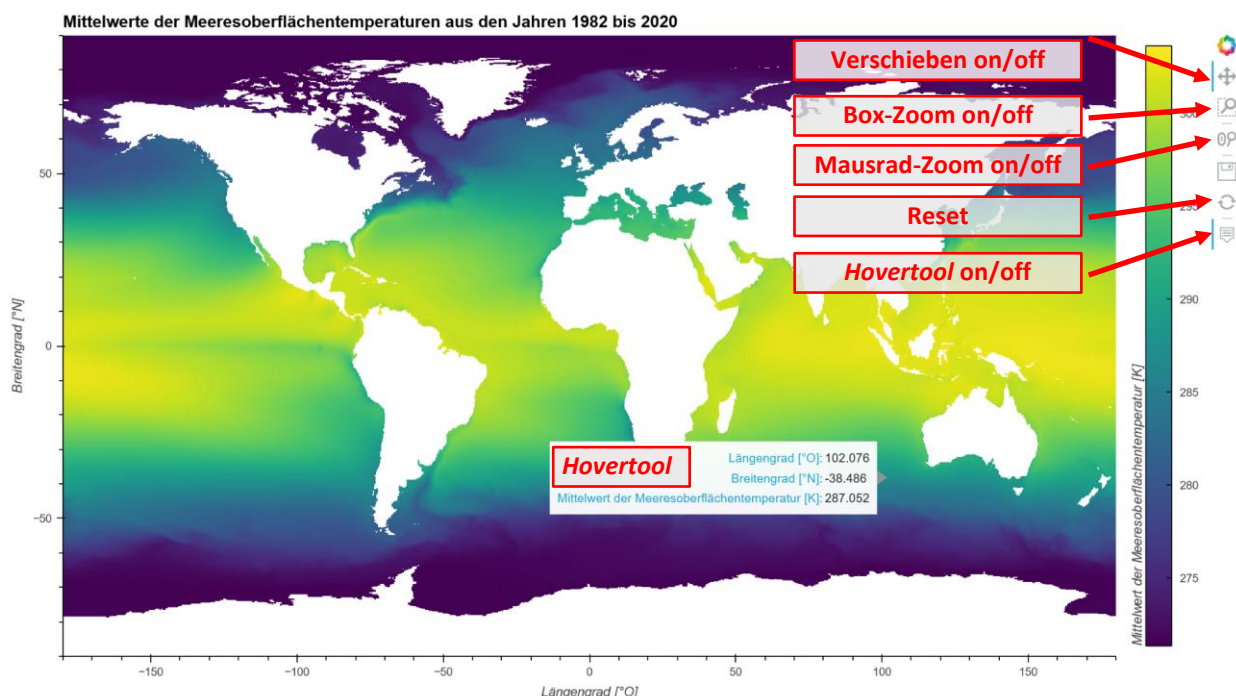


Abbildung 8: Beispielsicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige der langjährigen Mittelwerte der SST. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Wie verändert sich die Meeresoberflächentemperatur aufgrund des Klimawandels?

Klimatologische Monatsmittelwerte

Abbildung 9 ist eine Beispielsansicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige der klimatologischen Monatsmittelwerte der SST. Der anzuzeigende Monat kann ausgewählt werden. Dadurch können SuS klimatologische Jahresgänge an verschiedenen Orten untersuchen. Es wird deutlich, dass die jahreszeitlichen Änderungen kleiner sind als die räumlichen Unterschiede und Änderungen aufgrund des Klimawandels mit dieser Art der Darstellung nicht mehr sichtbar wären. Die Grafik ist etwa 70 MB groß.

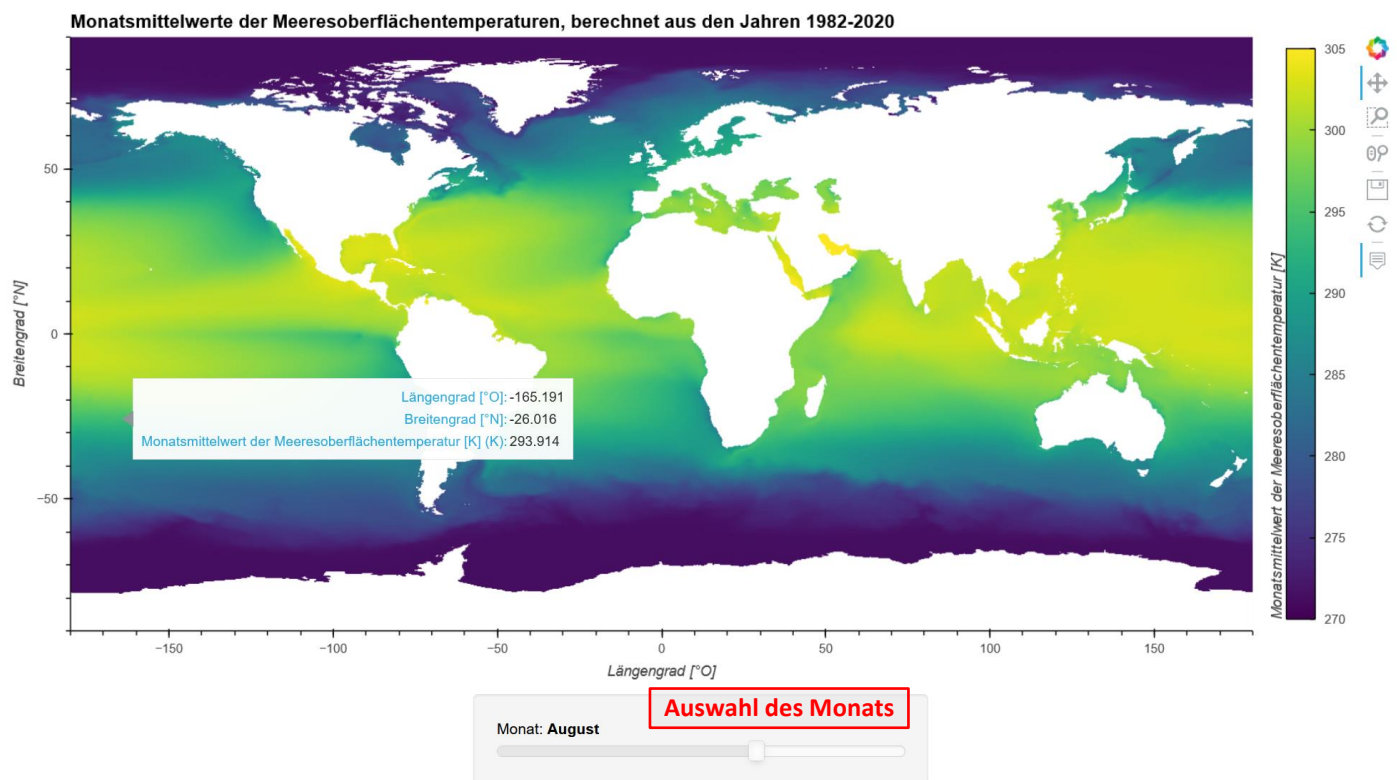


Abbildung 9: Beispielsansicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige der klimatologischen Monatsmittelwerte der SST. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Wie verändert sich die Meeresoberflächen-temperatur aufgrund des Klimawandels?

Anomalien der klimatologischen Monatsmittelwerte

Abbildung 10 ist eine Beispielansicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige der Anomalie der klimatologischen Monatsmittelwerte der SST. Hier wurde von den klimatologischen Monatsmittelwerten der SST (Abbildung 9) der langjährige Mittelwert (Abbildung 8) abgezogen, um die Anomalie zu bilden. Dies macht die Jahreszeitlichen Änderungen viel deutlicher und ist auch ein geeignetes Mittel, um Änderungen aufgrund des Klimawandels sichtbar zu machen. Auch diese Browsergrafik enthält ein Steuerelement zur Auswahl des anzuzeigenden Monats. Die Grafik ist etwa 70 MB groß.

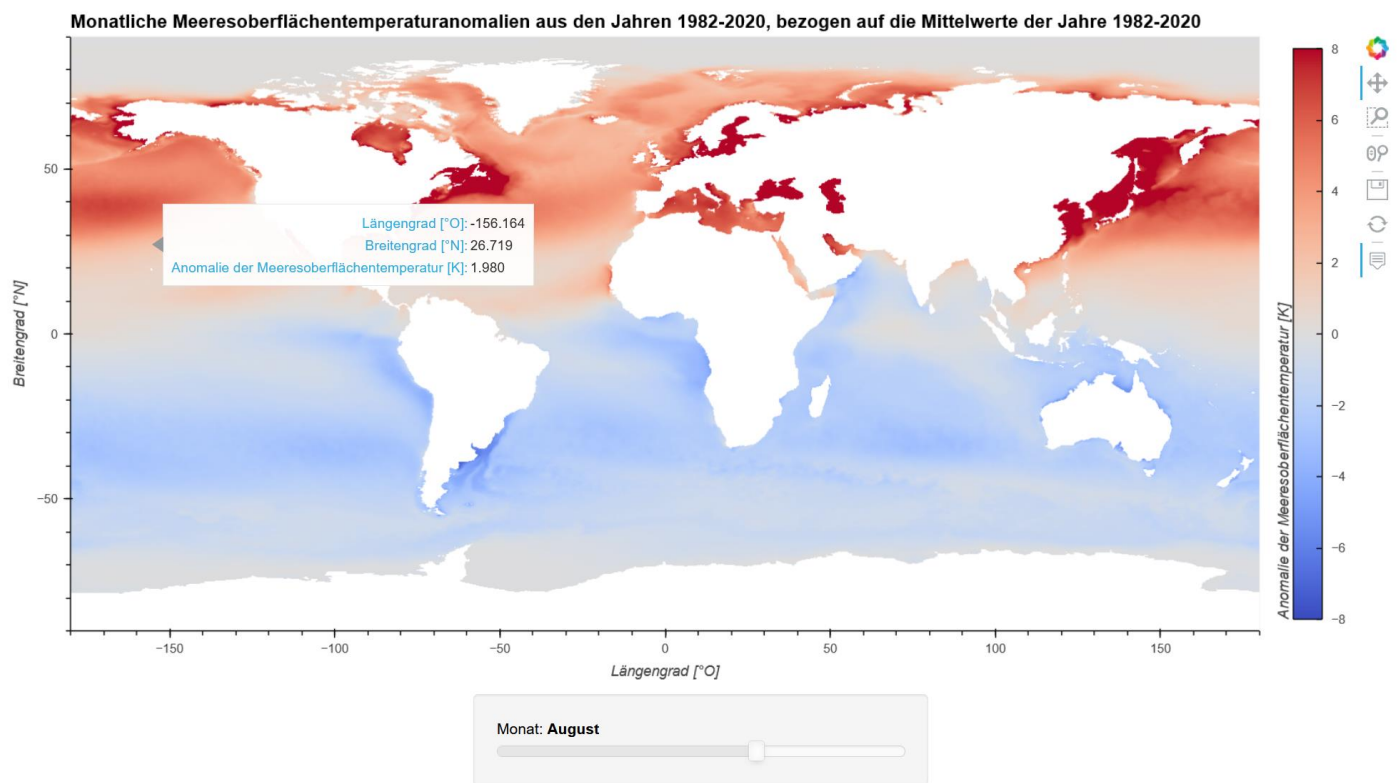


Abbildung 10: Beispielansicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige der Anomalie der klimatologischen Monatsmittelwerte der SST. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Wie verändert sich die Meeresoberflächen-temperatur aufgrund des Klimawandels?

Anomalien der Jahresmittelwerte

Abbildung 11 ist eine Beispielansicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige der Anomalie der Jahresmittelwerte der SST. Hier wurde von den einzelnen Jahresmittelwerten der SST der langjährige Mittelwert (Abbildung 8) abgezogen, um die Anomalie zu bilden. Hier kann zusätzlich das Jahr ausgewählt werden. Die Abbildung zeigt u. a. den Einfluss des Klimawandels auf die SST. Die Grafik ist etwa 216 MB groß.

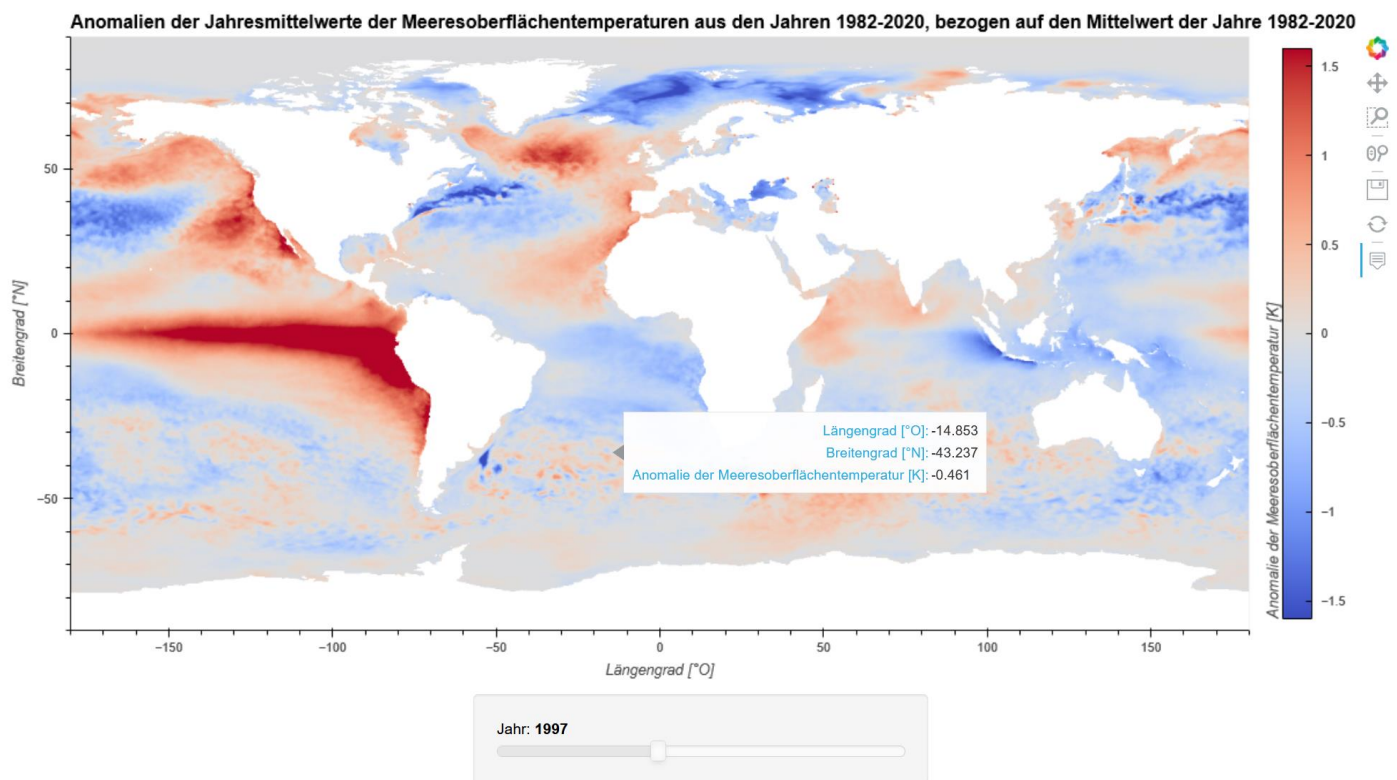


Abbildung 11: Beispielansicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige der Anomalie der klimatologischen Monatsmittelwerte der SST. Datenherkunft: Copernicus Climate Change Service [C3S, 12, 13, 14, 15, 16]. Auswertung und Abbildung: S. Arndt [21].

Zeitreihen

Abbildung 6 ist eine Beispielansicht der interaktiven Browsergrafik zur Anzeige von Zeitreihen der Anomalien der Jahresmittelwerte für acht verschiedene Regionen (Mittelmeer, Nordpazifik, Nordpolarmeer, Ostsee, Südpazifik, Südpolarmeer, globales Mittel, äquatorialer Pazifik). Durch Klicken auf die Namen der Regionen in der Legende lassen sich die entsprechenden Kurven ein- und ausblenden. Aus Zeitreihen wie diesen lassen sich regionale Trends des Anstiegs der SST berechnen.

Referenzen & weiterführende Literatur

- 1 Chen, D. et al. (2021): Framing, Context, and Methods. In: Masson-Delmotte, V. et al. (Hg.): Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press.
- 2 https://en.wikipedia.org/wiki/Sea_surface_temperature
- 3 <https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresoberfl%C3%A4chentemperatur>
- 4 Arias, P. A. et al. (2021): Technical Summary. In: Masson-Delmotte, V. et al. (Hg.): Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press
- 5 <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-surface-temperature>
- 6 https://www.avl.class.noaa.gov/release/data_available/avhrr/index.htm
- 7 <https://de.wikipedia.org/wiki/AVHRR>
- 8 <https://www.noaa.gov>
- 9 https://de.wikipedia.org/wiki/National_Oceanic_and_Atmospheric_Administration
- 10 <https://www.eumetsat.int>
- 11 <https://de.wikipedia.org/wiki/EUMETSAT>
- 12 <https://climate.copernicus.eu>
- 13 Copernicus Climate Change Service (C3S) (2019): Sea surface temperature daily data from 1981 to present derived from satellite observations. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.cf608234
- 14 Good, S. et al. (2019). ESA Sea Surface Temperature Climate Change Initiative (SST_cci): Level 4 Analysis Climate Data Record, version 2.0. Centre for Environmental Data Analysis. DOI: 10.5285/aced40d7cb964f23a0fd3e85772f2d48
- 15 https://climate.esa.int/media/documents/SST_cci_ATBD_UOR_v3.pdf
- 16 <https://www.nature.com/articles/s41597-019-0236-x>
- 17 <https://earth.esa.int/eogateway/instruments/atsr>
- 18 <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-slstr/overview>
- 19 <https://www.esa.int>
- 20 <https://de.wikipedia.org/wiki/Plattkarte>
- 21 https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/BachelorThesis/Sebastian_Arndt_Bachelorarbeit.pdf
- 22 <https://de.wikipedia.org/wiki/Golfstrom>
- 23 [https://de.wikipedia.org/wiki/Auftrieb_\(Ozeanographie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Auftrieb_(Ozeanographie))
- 24 <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602>
- 25 <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/temperature>
- 26 https://de.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o
- 27 https://de.wikipedia.org/wiki/Plancksches_Strahlungsgesetz