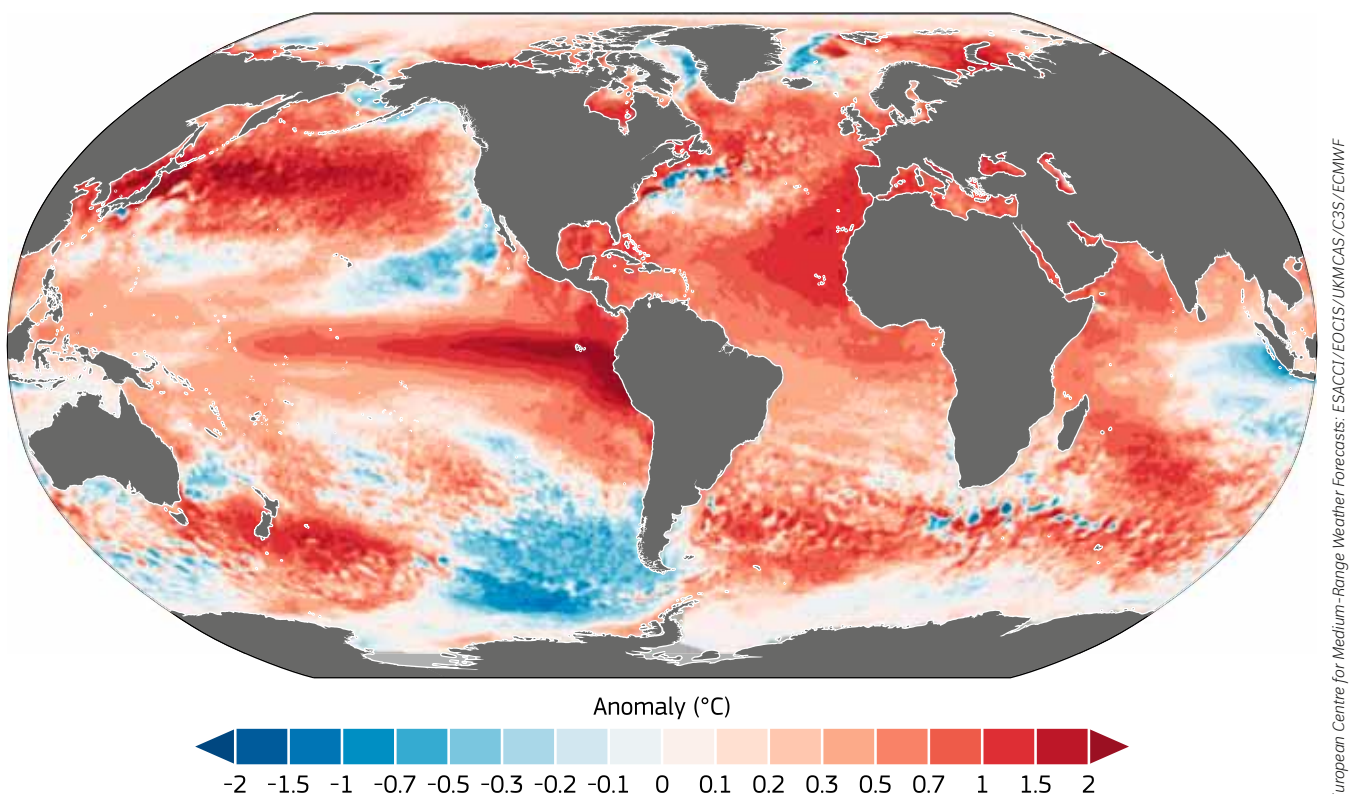


# Heißzeit in den Weltmeeren

Der Klimawandel ist in aller Munde. Die meisten Beiträge zu diesem Thema befassen sich mit den Veränderungen auf dem Festland. Das ist verständlich, denn dort sind die Auswirkungen des Klimawandels für den Großteil der Menschheit direkt erfahrbar. Die Erdoberfläche wird jedoch zu etwa 70 Prozent von Meeren eingenommen. Natürlich sind auch die Meere in die Vorgänge des Klimawandels eingebunden und beeinflussen die Klimaentwicklung auf der gesamten Erde. Mithilfe der hier vorgelegten Materialien können Schülerinnen und Schüler die Rolle der Meere im Rahmen des Klimawandels untersuchen, einordnen und beurteilen.



**Abb. 1:** Temperaturabweichung des Oberflächenwassers im Atlantischen Ozean im Juli 2023 im Vergleich zu den Durchschnittswerten zwischen 1991 und 2020

## Theoretische Grundlage

### Die Erwärmung der Meere

Die zunehmende Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre führt seit Jahrzehnten zu einem anthropogen verstärkten Treibhauseffekt, der die Erderwärmung verursacht. Derzeit liegt die globale Durchschnittstemperatur etwa 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau. Dieser Wert wäre noch viel höher, würde nicht der Großteil (etwa 90 Prozent) der zusätzlich im Erdsystem verbleibenden Wärmeenergie von den Meeren aufgenommen. Seit 1950 ist die Oberflächentemperatur der Meere global um fast 1 °C angestiegen, wobei es allerdings starke regionale Unterschiede gibt. Die aufgenommene Wärme verbleibt überwiegend in den oberen Wasserschichten. Darunter bildet sich eine sogenannte Sprungschicht oder Thermokline aus, in deren Be-

reich die Wassertemperatur nach unten rasch absinkt. Durch die Erwärmung des Wassers verstärkt sich die Schichtung in den oberen etwa 200 Metern der Wassersäule, vor allem in den Meeren der niederen und mittleren Breiten. Dadurch werden Austauschvorgänge behindert. So ist beispielsweise der Transport von Sauerstoff in tiefere Wasserschichten beeinträchtigt.

Die Erwärmung der Meere wird durch die immer heftiger werdenden Tropenstürme noch verstärkt, denn die Stürme wühlen das Wasser in immer größere Tiefen auf. Die daraus resultierende starke Durchmischung führt dazu, dass Wärmeenergie aus der Atmosphäre in tiefere Wasserschichten vordringen kann und dort gespeichert wird.

Ein Teil der im Wasser gespeicherten Wärmeenergie wird zeitverzögert wieder an die Atmosphäre abgegeben. Diesem Effekt verdanken küstennahe Gebiete ihr ausgeglichenes (maritimes) Klima. Der anthropogen verstärkte Treibhauseffekt bewirkt allerdings, dass sich die Meere per Saldo immer mehr erwärmen, die Wärmeaufnahme also größer als die Wärmeabgabe ist.

### Die Bedeutung der Meere im Kohlenstoffkreislauf

Das Treibhausgas  $\text{CO}_2$  ist in Wasser löslich. Die Aufnahmekapazität ist vor allem von der Wassertemperatur und vom Salzgehalt abhängig. Wind, Wellen und Meeresströmungen spielen für die vertikale und horizontale Verbreitung des aufgenommenen  $\text{CO}_2$ , ebenso wie für den Wärmetransport, eine wichtige Rolle. Je wärmer und salzhaltiger das Meerwasser ist, umso weniger  $\text{CO}_2$  kann es aufnehmen. Folglich ist die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme in den kalten Meeren am größten, während warme Meeresgebiete übersättigt sein können und dann mehr  $\text{CO}_2$  an die Atmosphäre abgeben, als sie aufnehmen. Per Saldo haben die Meere bisher etwa ein Viertel der vom Menschen verursachten  $\text{CO}_2$ -Emissionen aufgenommen. Die Meere stellen daher eine bedeutende Kohlenstoffsенке dar. Insgesamt übertrifft der Kohlenstoffgehalt der Meere den der Atmosphäre um das Fünffache. Die Erderwärmung wird durch die Meere also erheblich abgemildert.

### Auswirkungen zunehmender Meerestemperaturen

Erwärmt sich Wasser, dehnt es sich geringfügig aus. Für die Meere bedeutet das, dass der Meeresspiegel ansteigt. Die thermische Ausdehnung des Wassers ist daran allerdings nur zu weniger als der Hälfte beteiligt. Von noch größerer Bedeutung ist die Wasserzufuhr durch schmelzendes Eis. Die rückläufige Eisbedeckung der polaren Meere hat damit nichts zu tun, denn hierbei handelt es sich um Meereis. Das Schmelzwasser von Gebirgsgletschern, der Antarktis und dem grönländischen Inlandeis vermehrt jedoch das Wasservolumen in den Meeren. Dieser Prozess könnte sich in Zukunft noch verstärken, wenn durch die steigenden Wassertemperaturen etwa der Westantarktische Eisschild instabil werden sollte. Falls es dazu kommt, werden riesige Eismassen aus der Antarktis ins Meer abfließen und dann langsam abtauen.

Seit 1900 ist der Meeresspiegel im globalen Durchschnitt um etwa 20 Zentimeter angestiegen. Das erscheint verhältnismäßig wenig, doch im Zusammenhang mit Sturmfluten oder

tropischen Wirbelstürmen sind immer mehr flache Küstengebiete Überflutungen ausgesetzt. Besonders bedrohlich ist die Lage für einige Inselgruppen im Pazifik, die sich als Atolle nur wenige Meter über den Meeresspiegel erheben und immer öfter überflutet werden. Das Problem wird sich weiter verschärfen, denn abhängig von der zukünftigen Entwicklung der Treibhausgasemissionen wird bis zum Jahr 2100 mit einem Anstieg um 0,5 bis zu einem Meter gerechnet, einige Schätzungen sprechen sogar von zwei Metern. Die Regierungen einiger pazifischer Inselstaaten denken bereits daran, ihre Bevölkerung umzusiedeln.

Mit der Zunahme der Wassertemperaturen steht zugleich mehr Energie für die Ausbildung von Stürmen zur Verfügung. So hat die Zerstörungskraft vieler Orkantiefs, Hurrikans und Taifune in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen.

Viele marine Lebensformen sind an stabile Umweltbedingungen angepasst. Bereits geringfügige Erhöhungen der Wassertemperatur haben zum Beispiel dazu geführt, dass manche kommerziell bedeutende Fischarten ihre früheren Verbreitungsgebiete auf der Suche nach kälterem Wasser verlassen haben. In den Tropen häufen sich Korallenbleichen, bei denen die Korallenpolypen ihre einzelligen, Photosynthese betreibenden Symbiosepartner (Zooxanthellen) im Hitzestress ausstoßen. Dauern die hohen Temperaturen über längere Zeit an, sterben die Korallen sogar ab. In vielen Gebieten sind die Korallenriffe bereits nachhaltig geschädigt.

In den Polargebieten verursacht die schwindende Ausdehnung der Meereisbedeckung massive Veränderungen in den Nahrungsketten, weil der Lebensraum von Kleinstorganismen, die unter dem Eis leben, zunehmend verloren geht.

Neben der Temperaturerhöhung des Wassers ist die Versauerung der Meere für alle Meeresorganismen von Bedeutung, die Strukturen aus Kalk aufbauen. Neben Steinkorallen sind dies beispielsweise Schnecken und Muscheln sowie viele Einzeller. Durch den erhöhten Eintrag von  $\text{CO}_2$  kommt es zu einer Versauerung der Meere, denn  $\text{CO}_2$  reagiert im Wasser auch zu Kohlensäure. Die Versauerung des Wassers hat zur Folge, dass Strukturen aus Kalk angelöst werden und dadurch ihre Festigkeit verlieren können. Im Fall der Steinkorallen vermindert sich ihre Widerstandsfähigkeit gegen starke Wellenbewegungen, weil das Kalkskelett porös wird. Da Korallenriffe als Wellenbrecher für viele Küstengebiete von Bedeutung sind, hat die Schädigung der Riffe in vielen tropischen Gebieten einen direkten negativen Einfluss auf die dort lebenden Menschen.

## Unterrichtsvorschlag

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Weltmeere und die Folgen für den Menschen lassen sich besonders eindringlich am Beispiel der zunehmenden Überflutungen von Küsten aufzeigen. Ein solches Ereignis ist auch als Einstieg in die gesamte Thematik geeignet. Dazu finden sich im Internet zahlreiche kürzere oder längere Videobeiträge (z. B. zu Sturmfluten an der Nordseeküste). Eine weitere Möglichkeit, direkt in das Thema einzuführen, wäre die Gefährdung flacher tropischer Inseln im Pazifik oder im Indischen Ozean. Besondere Aufmerksamkeit erregte in diesem Zusammenhang der kleine Inselstaat Tuvalu, der durch den Anstieg des Meeresspiegels in absehbarer Zeit möglicherweise vollständig überflutet und dadurch unbewohnbar werden könnte. Zu dieser Problematik wäre beispielsweise der Einsatz des elfminütigen Videos <https://www.arte.tv/de/videos/116710-004-A/mit-offenen-agen/> geeignet (2023 ausgestrahlt, im Netz bis Ende 2028 verfügbar). Eventuell könnte auch ein Ausschnitt aus dem Spielfilm „The Day After Tomorrow“ von 2004 gezeigt werden (Flutwelle trifft New York). Dazu wäre allerdings eine entsprechende Vorbereitung notwendig, die über den fiktiven Hintergrund dieses Films aufklärt.

Anhand der Materialien in **Arbeitsblatt 1** können die Ursachen für den Meeresspiegelanstieg analysiert werden. In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, auf den Kohlenstoffkreislauf einzugehen und herauszuarbeiten, dass die Meere wichtige Kohlenstoffsinken sind, die den anthropogen verstärkten Treibhauseffekt reduzieren und dadurch die Erderwärmung dämpfen. Als zusätzlicher Aspekt kann noch die Abnahme der Meereisbedeckung thematisiert werden.

In **Arbeitsblatt 2** sind verschiedene Materialien enthalten, anhand derer die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs und der Temperaturzunahme des Meerwassers an konkreten Fallbeispielen untersucht werden können. Dabei lassen sich auch die Möglichkeiten des Küstenschutzes in Industrienationen und Staaten des Globalen Südens vergleichend analysieren. Eine weitere Thematik, die mit den steigenden Wassertemperaturen einhergeht, betrifft die Schädigungen von Korallenriffen.

Insbesondere für den Unterricht in höheren Klassen bietet **Arbeitsblatt 3** Materialien zur Behandlung des Golfstroms. An diesem Beispiel kann unter anderem die Problematik erarbeitet werden, die sich aus unzulänglichem Datenmaterial für verlässliche Vorhersagen zu den Auswirkungen des Klimawandels ergeben.

### Literatur

- Bojanowski, A.: Der Golfstrom bringt Medien ins Schwimmen. In: Welt am Sonntag vom 26.01.2025, S. 55.
- Hutterer, M.: Wenn Staaten versinken. In: Max Planck Forschung, 2/2023, S. 60–65.
- Jakob, K.: Die große Schmelze. In: Max Planck Forschung, 4/2023, S. 32–37.
- Kaminske, V.: Das Golfstromsystem und der Klimawandel. In: Naturwissenschaftliche Rundschau, 11/2023, S. 540–547.
- Konopka, H.-P.: Wetter und Klima in den Polarregionen. In: geographie heute, H. 368, 2024, S. 24–31.
- Kurlermann, R.: Der Ozean und das Weltklima. In: Bild der Wissenschaft, Sonderausgabe Nr. 6, 2023: Die Macht der Ozeane, S. 62–65.
- Link, P. M.: Aktuelle Forschungen zu Veränderungen des Meeresspiegels und ihre Folgen. In: Geographische Rundschau, 4/2025, S. 4–9.
- Maribus (Hrsg.): World Ocean Review. Mit den Meeren leben 5: Die Küsten – ein wertvoller Lebensraum unter Druck. Hamburg 2017.
- Maribus (Hrsg.): World Ocean Review. Mit den Meeren leben 8: Klimaretter Ozean? Wie das Meer (noch) mehr Kohlendioxid aufnehmen soll. Hamburg 2024.
- Müller-Jung, J.: Eis am Ende. In: Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung vom 13.04.2025, S. 47.
- Netz, H.: Die Ozeane heizen dem Klima ein. In: Bild der Wissenschaft, 8/2021, S. 74–79.
- Paulus, N./Hoffmann, T.: Den Klimawandel im Meer bekämpfen. In: Praxis Geographie, 7–8/2024, S. 42–46.
- Rahmstorf, S.: Kipppunkt voraus? In: Spektrum der Wissenschaft, 5/2025, S. 12–24.
- Thunberg, G. (Hrsg.): Das Klima Buch. Frankfurt a. M. 2022. S. Fischer Verlag.
- Ward, P. D.: Die große Flut. München 2021. Oekom Verlag.



Hans-Peter Konopka

Studiendirektor i. R., vormals tätig am Stadtgymnasium in Dortmund (Erdkunde und Biologie)