

Name:

Datum:

Klimawandel und Anstieg des Meeresspiegels

Welchen Einfluss hat das Schmelzen von Eisbergen und Gletschern auf den Meeresspiegel?

Geräte

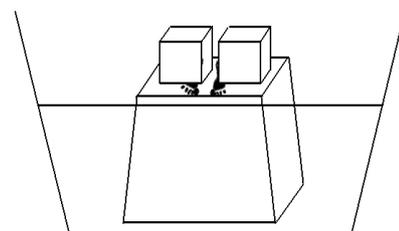
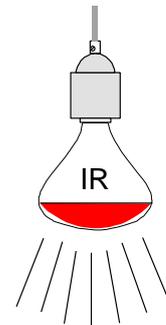
2 mittlere Kunststoffschalen, 1 Stativ mit 2 Klammern und 2 Muffen, 2 Infrarotlampen (Abstand Lampe zum Tisch ca. 15 cm), Messbecher, 2 kleine mit Steinchen befüllte Kunststoffboxen mit Deckel (Inseln), wasserfester Stift

Materialien

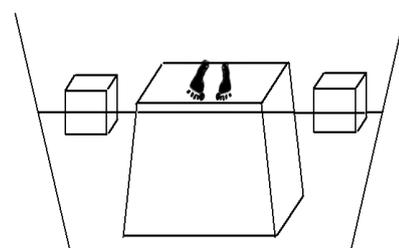
Leitungswasser, 4 Eiswürfel (eckig)

Durchführung

1. Stelle eine kleine Kunststoffbox (Insel) mit dem grünen Deckel nach unten in eine große Kunststoffschale.
2. Befülle diese große Kunststoffschale mittels eines Messbechers mit so viel (ca. 250 mL) Leitungswasser, dass die aufgemalten Füße auf der kleinen Kunststoffbox so gerade eben nicht nass werden.
3. Stelle die andere Insel (kleine Kunststoffbox) mit dem grünen Deckel nach unten in die andere große Kunststoffschale.
4. Lege in diese große Schale zwei Eiswürfel neben die Insel (Meereis = schwimmende Eisberge im Meer, z. B. am Nordpol). Möglicherweise musst du dazu die Insel etwas in die Ecke schieben.
5. Fülle mittels eines Messbechers so viel Leitungswasser (ca. 250 mL) in die große Schale, dass auch hier die aufgemalten Füße nicht nass werden.
6. Markiere mit einem wasserfesten Stift den Wasserstand (Meeresspiegel) außen an der großen Kunststoffschale.



Inlandeis



Meereis

7. In die andere große Kunststoffschale legst du vorsichtig zwei weitere Eiswürfel auf die Insel (Inlandeis = Gletscher, die sich auf dem Land befinden, z. B. in Grönland, in der Antarktis).
8. Markiere auch hier mit einem wasserfesten Stift den Wasserstand (Meeresspiegel) außen an der großen Kunststoffschale.

9. Schiebe nun jeweils die Lampen über beide Kunststoffschalen und schalte das Licht ein. Lass so die „Sonne“ auf das „Meer“ scheinen.
10. Beobachte den Wasserpegel (Meeresspiegel), während die Eiswürfel schmelzen! Schau ca. alle 5 bis 10 min nach, ob das Eis geschmolzen ist und kontrolliere den Meeresspiegel.
11. Da das Eisschmelzen einige Zeit dauert, **bearbeite in der Zwischenzeit den nächsten Versuch.**
12. Schalte die Lampe aus, sobald das Eis geschmolzen ist!

Was kannst du beobachten? Ist der Meeresspiegel gestiegen? Sind die Füße nass geworden?

Kunststoffschale mit schwimmenden Eisbergen: _____

Kunststoffschale mit Inlandeis: _____

Erkläre den Unterschied?

Welche Gefahren drohen den Küstengewässern von abschmelzenden Gletschern?

Name:	Datum:
-------	--------

Welchen Einfluss hat die Temperatur der Ozeane auf den Meeresspiegel?

Geräte

Erlenmeyerkolben weit (100 mL), Stopfen mit Glasrohr, Messbecher, Plastikschüssel, Infrarotlampe, wasserfester Stift, Thermometer

Materialien

Leitungswasser

Durchführung

1. Stelle den Erlenmeyerkolben in die Schüssel.
2. Fülle mittels eines Messbechers ca.130 mL Leitungswasser in den Erlenmeyerkolben.
3. Miss mit dem Thermometer die Temperatur des Wassers.
4. Setze den Stopfen mit dem Glasrohr vorsichtig auf den Erlenmeyerkolben. Der Wasserspiegel sollte sich jetzt ungefähr in der Mitte des Glasrohres befinden.
5. Markiere mit Hilfe eines wasserfesten Stiftes den Wasserstand im Glasrohr.
6. Nimm den Erlenmeyerkolben aus der Schüssel heraus, entleere das übergelaufene Wasser aus der Schüssel und stelle sie mit der Öffnung nach unten auf den Tisch.
7. Stelle nun den Erlenmeyerkolben auf die Schüssel und schiebe die Wärmelampe so vor die Schüssel, dass der Kolben bestrahlt wird. Schalte die Lampe ein.
8. Beobachte nach ca. 3 min, was mit dem Wasserstand im Glasrohr passiert!
9. Miss erneut die Temperatur des Wassers!

Was kannst du beobachten?

Welche Auswirkung kannst du für den Meeresspiegel ableiten?

Informationen zum Klimawandel und Anstieg des Meeresspiegels

Hintergrundinformationen:

In diesem Versuchsteil sollen die Schülerinnen und Schüler herausfinden, welche Faktoren zum globalen Anstieg der Meeresspiegel führen und welche Rolle der Klimawandel dabei spielt.

Wissenschaftliche Untersuchungen haben ergeben, dass sich der Anstieg der Meeresspiegel kontinuierlich beschleunigt. Mithilfe von Satelliten lassen sich die Meeresspiegel auf der ganzen Welt sehr genau erfassen und beobachten. Außerdem werden Beobachtungsdaten wie z. B. die Gezeitenpegel an Messstationen ermittelt. Zusätzlich können anhand bestimmter Indizien die Meeresspiegel der jüngeren Erdgeschichte rekonstruiert werden. Anhand dieser Daten konnten Wissenschaftler*innen belegen, dass der Meeresspiegel seit Beginn des 20. Jahrhunderts steigt. Des Weiteren wurde der globale Trend im Zeitraum von 2006 bis 2015 auf rund 3,6 mm Anstieg pro Jahr berechnet.¹ Anhand dieser Daten lassen sich Modelle entwickeln, deren Berechnungen einen immer schneller werdenden Anstieg ergeben (s. Abb.1).

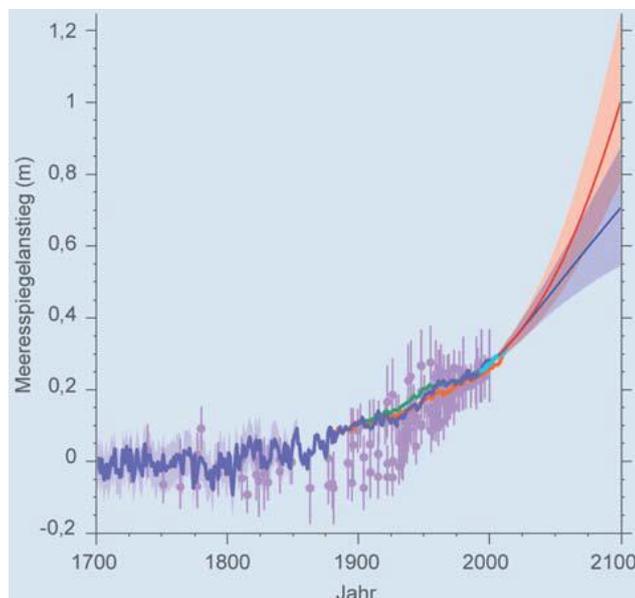


Abb. 1: Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels (Rekonstruktionen der Vergangenheit, Messdaten, Satellitendaten und Klimaprojektionen) und Modellrechnungen für die Zukunft für verschiedene Szenarien.¹

Der Anstieg der Meeresspiegel beeinflusst das Leben vieler Millionen Menschen, die in der direkten Umgebung von Küsten oder auf kleinen Inseln leben. Vor allem das Überleben an niedrig liegenden Küstenregionen, Flussmündungen, Flussdeltas und kleinen Inseln ist bedroht. Die Bedrohung ist nicht nur für die Bevölkerung weit entlegener Inseln im pazifischen Ozean spürbar, auch für die deutschen Nord- und Ostseeküsten oder Städte wie Bremen und Hamburg steigt mit den Meeresspiegeln das Risiko z. B. für Überflutungen und damit verbundene Zerstörungen. Neben Überschwemmungen und Überflutungen sind Erosionen von Stränden und Steilküsten, ein erhöhter Grundwasserspiegel sowie das Eindringen von Salz in Grund- und Oberflächenwasser weitere negative Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs.

Physikalische Eigenschaften von Wasser

Wasser kann in der Natur in allen drei **Aggregatzuständen** vorliegen: fest (zu Eis gefroren), flüssig und gasförmig (als Wasserdampf). Unter Normalbedingungen liegt der Schmelzpunkt bei 0 °C und der Siedepunkt bei 100 °C. Das bedeutet, Wasser gefriert bei sinkenden Temperaturen < 0 °C zu Eis und Eis schmilzt bei steigenden Temperaturen > 0 °C.

Mit steigender Temperatur dehnt sich Wasser aus (**thermische Expansion**). Das Volumen nimmt also bei gleicher Masse zu, die Dichte nimmt entsprechend ab. Abweichend davon nimmt im Temperaturbereich zwischen 0 °C und 4 °C das Volumen von Wasser bei steigender Temperatur ab (**Dichteanomalie von Wasser**). Unter Normaldruck hat Wasser im flüssigen Zustand somit bei 4 °C die höchste Dichte (s. Abb. 2).

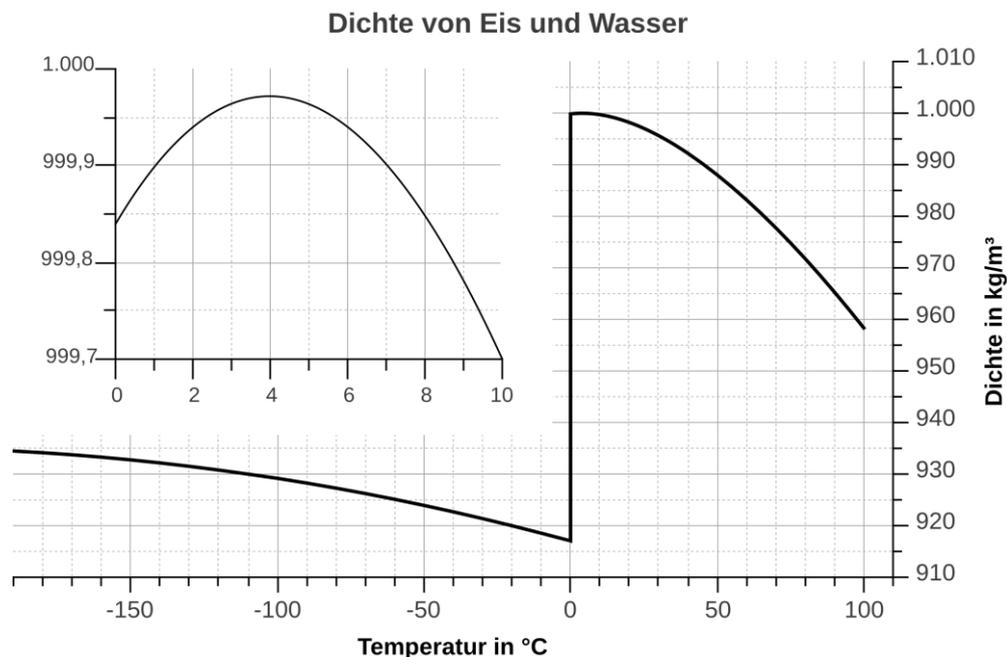


Abb. 2: Dichte von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur: Wasser mit einer Temperatur von 4 °C besitzt die größte Dichte (Dichteanomalie) und ist entsprechend schwerer als Wasser im warmen Temperaturbereich > 4 °C. Mit steigender Temperatur nimmt die Dichte weiter ab, das Volumen nimmt bei gleicher Masse zu.²

Aufgrund dieser Anomalie schwimmen Eiswürfel im Wasser, anstatt zu Boden zu sinken. Nach dem **Archimedischen Prinzip** verringert sich das Gewicht eines in eine Flüssigkeit getauchten Körpers um das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge. Ein Eiswürfel verdrängt also genau so viel Wasser wie er wiegt.

Für den Anstieg der Meeresspiegel sind vor allem zwei Faktoren verantwortlich. Ausgelöst werden sie durch den mit dem Klimawandel verbundenen Temperaturanstieg. Der überwiegende Teil wird durch das Schmelzen von Gletschern und Schnee verursacht. Des Weiteren dehnt sich das Wasser durch die Erwärmung aus, braucht also mehr Platz und hebt somit den Meeresspiegel an. Diese beiden Effekte sollen in den beiden Experimenten getrennt voneinander beobachtet werden.

Erklärung zum Versuch „Welchen Einfluss hat das Schmelzen von Eisbergen und Gletschern auf den Meeresspiegel?“

In diesem Versuch sollen die Schülerinnen und Schüler beobachten, welche Folgen es hat, wenn aufgrund der Erwärmung Eismassen schmelzen. Für den Anstieg der Meeresspiegel sind zwei Arten von Eis voneinander zu unterscheiden. Zum einen gibt es das Inlandeis, das aus den Eismassen besteht, die sich auf festem Untergrund oberhalb des Meeresspiegels befinden, wie die Eisschilde in Grönland und der Antarktis. Dargestellt wird das Eis auf den Landmassen durch die Eiswürfel, die auf der Plattform der Legoinself abgelegt werden. Zum anderen gibt es

das Meereis, das in Form von Eisbergen auf dem Meer schwimmt. Es bildet sich, wenn das Meerwasser der polaren Ozeane gefriert. Im Versuchsansatz mit dem Meereis schwimmen die Eiswürfel neben der Legoinselfigur im Wasser.

Durch das Einschalten der Lampe als beschleunigende Wärmequelle wird der Versuchsaufbau erwärmt und die Erderwärmung simuliert. Mit steigender Temperatur beginnen die Eiswürfel zu schmelzen. Die Schülerinnen und Schüler können dabei beobachten, dass in dem Versuchsansatz mit dem „Inlandeis“ der Wasserstand zu steigen beginnt, sobald das Schmelzwasser von der Plattform in das Wasser tropft. In dem Versuchsansatz mit dem schmelzenden „Meereis“ hingegen bleibt der Wasserstand konstant. Somit bekommt nur die Legofigur aus dem Versuch mit dem Inlandeis nasse Füße, da der Wasserstand durch die schmelzenden Eiswürfel ansteigt, die Legofigur aus dem Ansatz mit den schwimmenden Eisbergen hingegen nicht. Der Wasserstand ändert sich nicht, obwohl auch die schwimmenden Eiswürfel schmelzen.

Die steigenden Lufttemperaturen führen zum Abschmelzen des Inlandeises. Das dadurch entstehende Schmelzwasser gelangt vom Festland über die Flüsse in die Meere. Durch diese zusätzliche Wassermenge dort vergrößert sich das Volumen und der Meeresspiegel steigt entsprechend an. Solche Meeresspiegeländerungen, die durch Massenverteilung des Wassers zustande kommen, werden als eustatisch bezeichnet. Die zunehmende Schmelzrate des Landeises ist für rund 70 % des globalen Meeresspiegelanstiegs verantwortlich.¹

Im Unterschied dazu stellen die Schülerinnen und Schüler fest, dass das Schmelzen des Meereises nicht zum Anstieg der Meeresspiegel beiträgt, obwohl die Eisberge zum Teil aus dem Wasser herausragen. Da sich beim Gefrieren und Schmelzen jedoch nur das Dichteverhältnis ändert, nicht aber das Masseverhältnis und der Eiswürfel genau so viel Wasser verdrängt, wie er wiegt (Archimedisches Prinzip), ändert sich der Wasserspiegel in diesem Versuchsansatz nicht. Denn das Wasser, das im festen Eisberg steckt, wird in flüssiger Form nur das Volumen benötigen, das er zuvor unter Wasser eingenommen hat. Das von ihnen benötigte Volumen war also in Form des festen Eises bereits vorhanden.

Trotzdem kann das Schmelzen der Eisberge einen Einfluss auf die Meeresspiegel haben, da infolgedessen weniger wärmende Sonnenstrahlen von der hellen, vereisten oder Schnee bedeckten Oberfläche reflektiert werden. Wenn das Meereis ganz oder teilweise verschwindet, absorbiert der dunkle Ozean mehr Energie und wird wärmer (siehe auch Versuchsteil „Erwärmung der Erdoberfläche durch Bestrahlung“). Was eine damit einhergehende Erwärmung bewirken kann, können die Schülerinnen und Schüler im nächsten Versuch „Welchen Einfluss hat die Temperatur der Ozeane auf den Meeresspiegel“ untersuchen.

Anlehnend an diesen Versuchsteil kann außerdem mit den Schülerinnen und Schülern über weitere Konsequenzen der Eisschmelze gesprochen werden. So sind viele Menschen durch die Eisschmelze bedroht, da Gletscher für sie ein großes Trinkwasserreservoir darstellen.

Erklärung zum Versuch „Welchen Einfluss hat die Temperatur der Ozeane auf den Meeresspiegel?“

In diesem Versuchsteil beobachten die Schülerinnen und Schüler, dass sich mit steigender Temperatur der Wasserstand im Glasrohr erhöht. Wasser verändert in Abhängigkeit von der Temperatur seine Dichte, d. h. eine bestimmte Masse ändert ihr Volumen (s. Abb. 2). Durch die Erwärmung dehnt sich das Wasser aus (thermische Expansion), also nimmt das Volumen bei gleicher Masse zu und daher die Dichte ab. (Die Dichteanomalie von Wasser, d. h. die höchste Dichte im flüssigen Zustand bei 4 °C, ist für diesen Versuch unerheblich. Sie ist aber Voraussetzung dafür, dass die Eiswürfel im ersten Versuchsteil im Wasser schwimmen und nicht wie erwartet zu Boden sinken). Solche Änderungen des Meeresspiegels aufgrund von Dichteänderungen werden als sterische Meeresspiegeländerungen bezeichnet.

Da sich das Wasser der Ozeane oberhalb von 4 °C mit steigender Temperatur ausdehnt und der Meeresspiegel infolgedessen steigt, trägt auf diese Weise das Schmelzen des Meereises

aus dem ersten Versuchsteil zusätzlich zum Anstieg des Meeresspiegels bei. Durch das Abschmelzen wärmerereflektierender Flächen der schwimmenden Eisberge steigt die Temperatur der Ozeane, sie dehnen sich aus und der Meeresspiegel steigt. Es wird also eine sich aufschaukelnde Dynamik in Gang gesetzt. Abb. 3 zeigt eine Aufschlüsselung der genannten und weiterer Beiträge zum Ansteigen der Meeresspiegel.

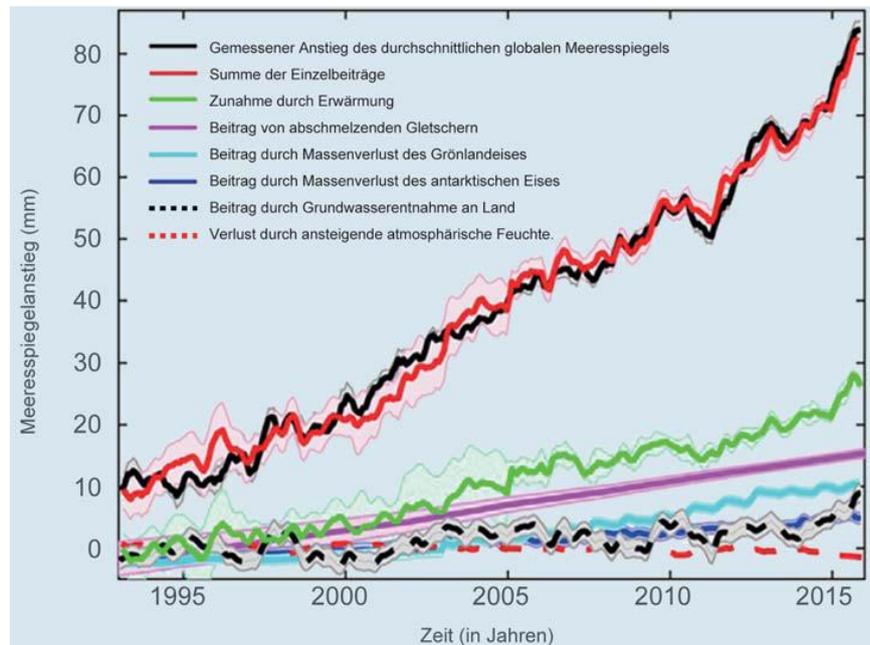


Abb. 3: Zusammensetzung des Meeresspiegelanstiegs aus verschiedenen Beiträgen.¹

Hinweise

Der Anstieg des Meeresspiegels wird in den Versuchen modellhaft dargestellt. Anders als gezeigt, wird der Meeresspiegel durch verschiedene Faktoren beeinflusst und steigt deshalb nicht einheitlich und gleichmäßig wie in einer sich füllenden Badewanne, sondern kann erhebliche regionale Unterschiede aufweisen und lokal variieren (s. Abb.4). Beispiele dafür sind die vielfältigen Strömungen, die unsere Ozeane durchziehen und so Wasser mit unterschiedlicher Temperatur und unterschiedlichem Salzgehalt über den ganzen Globus verteilen. Ändern sich durch den Klimawandel die Wassertemperatur, der Salzgehalt der Meere und die Strömungssysteme, ändert sich auch die regionale Verteilung des Wassers. Deshalb arbeiten Wissenschaftler*innen mit einem Durchschnittswert, dem globalen mittleren Meeresspiegelanstieg.

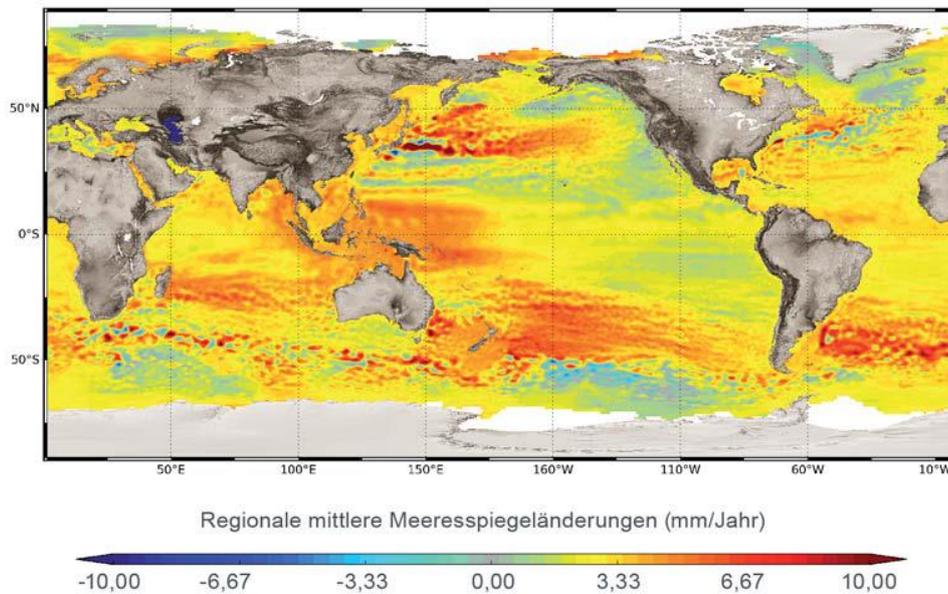


Abb. 4: Regionale Unterschiede des Meeresspiegelanstiegs.¹

Neben dem Schmelzen des Inlandeises und der Ausdehnung der Ozeane durch Erwärmung können weitere Faktoren zur Änderung des Meeresspiegels sowohl positiv als auch negativ beitragen, allerdings zu einem vergleichsweise geringeren Anteil (s. Abb. 5). Dazu gehören zum Beispiel Änderungen der Wasserspeicher an Land, etwa durch das Auffüllen von Stauseen als Folge massiver Grundwasserentnahmen oder tektonisch bedingte Effekte, die zu Landhebungen oder -senkungen führen.

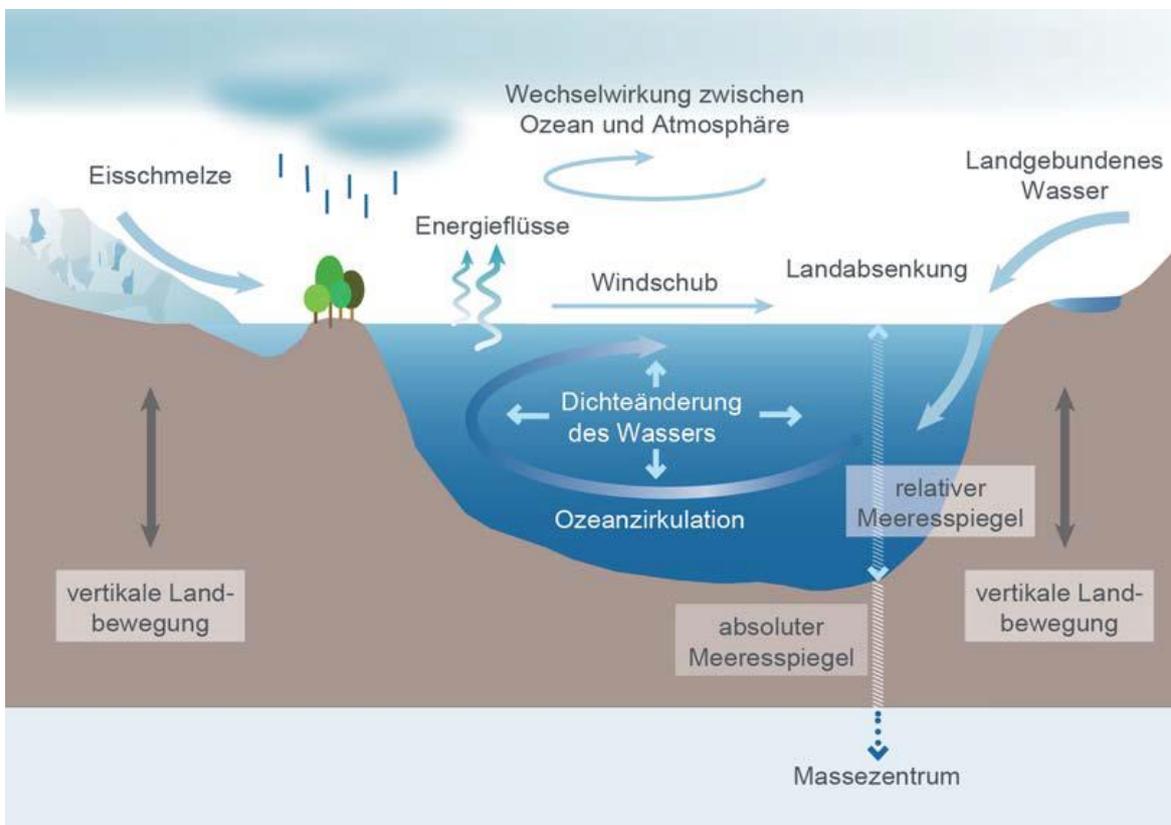


Abb. 5: Änderung der Meeresspiegel durch verschiedene Prozesse.¹

Quellen

1. Zukunft der Meeresspiegel. Deutsches Klima-Konsortium e. V. (DKK) und Konsortium Deutsche Meerforschung e. V. (KDM), Dezember 2019
Online unter <https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/meeresspiegel.html> (Zugriff am 11.05.2020)
 - Abb. 1: Rekonstruktion und Projektion der Meeresspiegel. IPCC 5th Assessment Report, Compilation of paleo sealevel data (purple), tide gauge data (blue, red and green), altimeter data (light blue) and central estimates and likely ranges for projections of global mean sea level rise from the combination of CMIP5 and process-based models for RCP2.6 (blue) and RCP8.5 (red) scenarios, all relative to pre-industrial values, 2013
 - Abb. 3: Abb. 4 Beiträge zum Meeresspiegelanstieg. Dieng et al., New estimate of the current rate of sea level rise from a sea level budget approach, Geophysical Research Letter, Vol. 44, 2017
 - Abb. 4: Regionale Unterschiede des Meeresspiegels. Copernicus/CLS/CNES/LEGOS 6 Foto Messturm. © Institut für Chemie und Biologie des Meeres, Universität Oldenburg; Sibet Riexinger
 - Abb. 5: Prozesse, die die Meeresspiegel beeinflussen. CEN/Universität Hamburg, nach Milne et al, 2009. Gestaltung: VISUV
2. https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Eigenschaften_des_Wassers (Zugriff am 12.07.2020), Urheber: Klaus-Dieter Keller (erstellt mit QtiPlot)