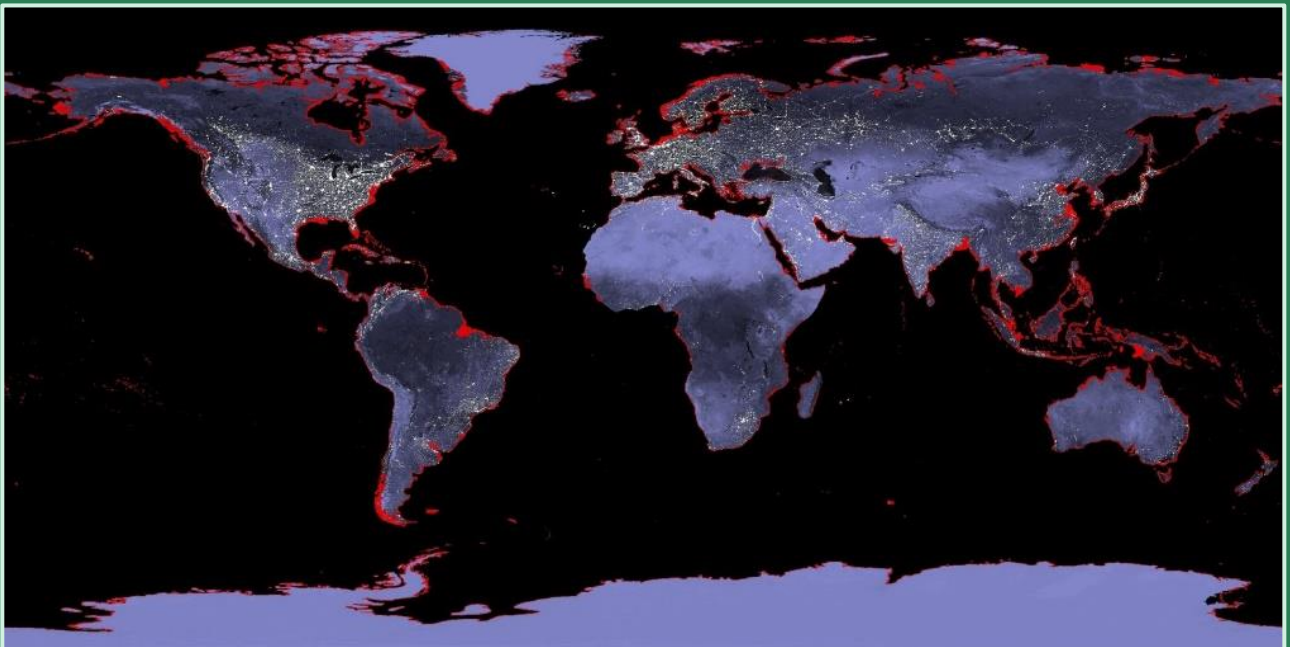


Der Klimawandel: verstehen und handeln

# Weltweite Auswirkungen des Klimawandels

Modul 5a

[www.klimawandel-schule.de](http://www.klimawandel-schule.de)



Dr. Cecilia Scorza  
LMU Fakultät Physik  
München

Moritz Strähle  
Asam-Gymnasium  
München

Pascal Eitner

Markus Vogelpohl

Clemens Bröll

## Zusammenfassung

Wir Menschen bewirken mit unserem Handeln und unserer Lebensweise einen Anstieg der Konzentration der Treibhausgasgase (siehe Modul 4). Der dadurch verstärkte Treibhauseffekt hat weltweite Auswirkungen. Dazu zählen Veränderungen von Temperatur, Niederschlag, Bewölkung, Schneebedeckung und des Meeresspiegels, sowie zu einem deutlich häufigeren Auftreten von Wetterextremen. Diese Veränderungen haben Auswirkungen auf Ökosysteme, Bewohnbarkeit von Erdregionen und Landwirtschaft.

Eines der Risiken, das die Lebensgrundlage vieler Millionen Menschen bedroht ist, der steigende Meeresspiegel. Dieser Anstieg hat zwei Ursachen: Zum einen, dass Wasser (wie alle Flüssigkeiten, Festkörper und Gase) bei höherer Temperatur ein größeres Volumen einnimmt und zum anderen durch schmelzendes Festlandeis.

Neben dem Meeresspiegelanstieg hat der menschengemachte Klimawandel auch eine Auswirkung auf die chemische Zusammensetzung der Ozeane. Der Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehaltes in der Atmosphäre sorgt aufgrund des Partialdruckausgleichs und chemischer Reaktionen mit dem Meerwasser zur Versauerung der Ozeane.

In diesem Modul lernen die SchülerInnen, wie der menschengemachte Treibhauseffekt andere Komponenten des Klimasystems beeinflusst und wie sich das auf den Menschen auswirkt. Hierbei wird die Wechselwirkung, die zwischen verschiedenen Systemen stattfindet, verdeutlicht.

# Inhalt

Weltweite Auswirkungen des Klimawandels .....	1
1.1. Weltweite Auswirkungen des Klimawandels .....	1
1.2. Die Versauerung der Ozeane .....	4
Aktivitäten .....	5
Aktivität 1 – Der Anstieg des Meeresspiegels.....	5
Aktivität 2 – Die Versauerung der Ozeane.....	6
Literatur .....	7

# Weltweite Auswirkungen des Klimawandels

## 1.1. Weltweite Auswirkungen des Klimawandels

In Modul 4 wurde dargelegt, dass wir als Menschen, also unser Handeln und unsere Lebensweise einen Anstieg der Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid, Methan, Stickoxiden und anderen Treibhausgasen bewirken. Der dadurch verstärkte Treibhauseffekt führt zu Veränderungen von Temperatur, Niederschlag, Bewölkung, Schneebedeckung und des Meeresspiegels, sowie zu einem deutlich häufigeren Auftreten von Wetterextremen aller Art, wie z. B. langen Dürreperioden und Extremniederschlägen sowie zu erhöhter atmosphärischer Aktivität (Gewitter, Stürme). Einige dieser Auswirkungen beruhen auf einfachen physikalischen Zusammenhängen, wie etwa der Anstieg des Meeresspiegels, die Versauerung der Ozeane oder die Verringerung der Albedo. Andere stellen nichtlineare, rückgekoppelte, komplexe Folgen dar, wie z. B. die Veränderung der Meeresströmungen mit ihren Auswirkungen auf Ökosysteme, Bewohnbarkeit von Erdregionen und Landwirtschaft, mit dem damit verbundenen Verlust an Nutzflächen. Im Folgenden wird auf Auswirkungen rund um das Wasser auf der Erde eingegangen, weitere Folgen sind unten in einer Tabelle dargestellt.

Wasser verdunstet umso schneller, je höher seine Temperatur ist. Dies führt zur in Modul 4 erwähnten Rückkopplung. Durch die erhöhte Luftfeuchtigkeit und die der Atmosphäre durch Kondensation vermehrt zugeführte Energie wird zudem die Wahrscheinlichkeit und Stärke von Extremwetterereignissen wie Gewitter, Hagel und Sturm bis hin zu Hurrikans gesteigert (vgl. [16]).

### Aktivität 1

Eines der Risiken, das eine direkte Bedrohung für den Menschen darstellt, ist der steigende Meeresspiegel. In den Jahren von 1993 bis 2010 führten die Folgen des Treibhauseffekts dazu, dass der Meeresspiegel pro Jahr um 3,2 Millimeter anstieg [8]. In seinem 5. Klimareport aus dem Jahr 2013 rechnet der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, kurz IPCC) damit, dass der Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 insgesamt um 52 bis 98 Zentimeter steigen wird, falls die Emission von Treibhausgasen ungebremst fortgesetzt wird [8]. Der Grund für diesen Anstieg ist zum einen, dass Wasser (wie alle Flüssigkeiten, Festkörper und Gase) bei höherer Temperatur ein größeres Volumen einnimmt<sup>1</sup>. Der Anteil dieser thermischen Ausdehnung am steigenden Meeresspiegel wird auf 30 bis 55 % geschätzt [17]. Der Rest kommt vor allem durch schmelzendes Festlandeis, wie das des antarktischen Eisschildes oder der Gletscher auf Grönland, zustande<sup>2</sup>. Aktuelle Messungen kommen zu dem Ergebnis, dass sich das Festlandeis sehr viel schneller abbaut als bisher vermutet: Durch das Abschmelzen des Eises bildet sich eine Gleitschicht zwischen Eis und Boden. Das führt dazu, dass riesige Eisflächen ins Meer rutschen [18].

<sup>1</sup> Ausgenommen hiervon ist natürlich die Dichteanomalie um 4 °C, die für unsere Überlegungen aber keine Rolle spielt.

<sup>2</sup> Schmelzendes Meereis führt hingegen nicht zu einer Erhöhung des Meeresspiegels, siehe auch das Experiment im Klimakoffer hierzu.

Die Prognosen bis zum Jahr 2100 sind erst der Anfang; dies zeigt der Vergleich von Temperatur und Meeresspiegel in der neueren Erdgeschichte in Abbildung 1. Das Grönlandeis bindet eine Wassermenge, bei deren komplettem Abschmelzen mit einem weltweiten Meeresspiegelanstieg von sieben Metern zu rechnen wäre. Mit einem Abschmelzen des Westantarktischen Eisschild würde der Meeresspiegel um 3,5 Meter steigen, mit einem Abschmelzen des Ostantarktischen Eisschildes (das bislang als weitgehend stabil gilt) sogar über 55 Meter [6]!

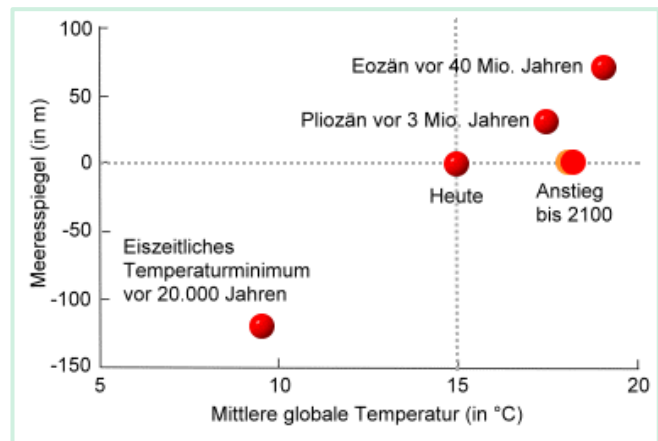


Abbildung 1 – Temperatur der Erde und Höhe des Meeresspiegels in der Erdgeschichte: Der Anstieg bis 2100 ist nur der Beginn eines langfristig viel stärkeren Anstiegs (Credits: Rahmstorf und Richardson)

Dies hätte insbesondere für niedrig liegende Küstenregionen und -städte katastrophale Überflutungen zur Folge. Darunter befinden sich auch die am dichtesten besiedelten Gebiete der Erde: 22 der 50 weltweit größten Städte liegen an einer Küste, unter anderem Tokio, Shanghai, Hongkong, New York und Mumbai. In Bangladesch ragen 17 % der Landesfläche mit ca. 35 Millionen Einwohnern momentan weniger als einen Meter aus dem Wasser. Andere Länder wie der Inselstaat Kiribati werden voraussichtlich ab 2050 nicht mehr bewohnbar und ab 2070 gänzlich überschwemmt sein. Die Regierung Kiribatis unternimmt bereits Schritte zur Umsiedelung der über 100.000 Einwohner.

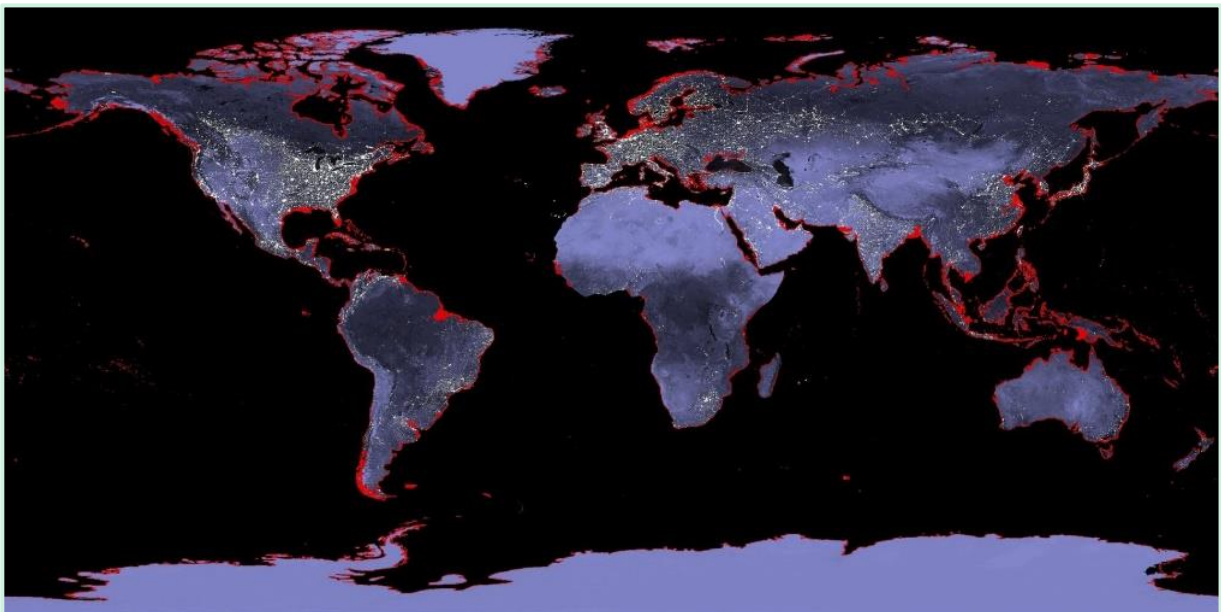


Abbildung 2 – Betroffene Küstengebiete bei einem Anstieg des Meeresspiegels um einen Meter (Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:6m\\_Sea\\_Level\\_Rise.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:6m_Sea_Level_Rise.jpg) aufgerufen am 27.05.2020)

Eine Erderwärmung hat auch weitreichende Konsequenzen auf die Wasserversorgung vieler Menschen. Bei einer Temperaturzunahme von 4 °C wäre durch das Abschmelzen der riesigen Gletscher im Himalaya rund ein Viertel der Einwohner Chinas und rund 300 Millionen Menschen in Indien betroffen. Im Mittelmeerraum und in den südlichen Gebieten Afrikas wäre die Trinkwasserversorgung stark eingeschränkt. Unter den Folgen von wiederkehrenden Dürren und Trockenheit hätten weltweit rund zwei Milliarden Menschen zu leiden [19].

In der folgenden Tabelle sind weitere Auswirkungen auf die verschiedenen Bestandteile des Klimasystems der Erde dargestellt:

Teil des Klimasystems	Veränderungen	Auswirkungen
Hydrosphäre	Die globale Erwärmung führt zur thermischen Ausdehnung der Meere, schmelzendes Festlandeis fließt ins Meer ab. Der Meeresspiegel steigt.	Überflutung von Küstengebieten, Küstenstädten, Massensterben von Fischen, Algen und anderen Meerestieren u. a. aufgrund des Temperaturanstieges des Wassers.
Atmosphäre	Heiße trockene Luft verstärkt die Erosion in einigen Regionen, in anderen Regionen verstärkt ein höherer Wasserdampfgehalt die Wolkenbildung und den Niederschlag.	Wetterextreme, Hitzewellen mit erheblichen Schäden an Flora und Fauna sowie Auswirkungen auf die Menschen, Starkregen mit plötzlichen Überflutungen.
Kryosphäre	Eis- und Schneeschmelze verringert die Albedo (Rückstrahlvermögen).	Mehr Sonnenstrahlung wird vom Boden aufgenommen und führt zu einer stärkeren Erwärmung der Erde.
Biosphäre	Mit der globalen Erwärmung sterben Pflanzen- und Tierarten aus (u. a. durch Verschiebung der Klimazonen, Veränderung von Ökosystemen, Trockenheit, Waldbrände).	Verschwinden von CO <sub>2</sub> -Senken. Es wird weniger CO <sub>2</sub> durch Photosynthese absorbiert und in O <sub>2</sub> verwandelt.
Pedosphäre und Lithosphäre	Freisetzung dunkler Flächen durch das Schmelzen von Eis und Schnee.	Verringerung der Albedo, stärkere Erderwärmung.

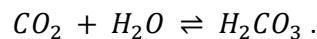
Tabella 1 – Veränderungen der Komponenten des Klimasystems durch die globale Erwärmung (Credits: Scorza)

Insgesamt sind die beschriebenen Folgen katastrophal: Die Umweltschutzorganisation Greenpeace geht davon aus, dass bereits im Jahr 2040 mindestens 200 Millionen Menschen ihre Heimat verlassen müssen, um zu überleben und damit zu Klimaflüchtlingen werden [20].

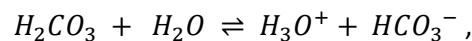
## 1.2. Die Versauerung der Ozeane

Vielleicht sollte in diesem etwas „apokalyptischen“ Modul noch erwähnt werden, dass die Kapazität des Wassers für die Aufnahme von Gasen mit der Temperatur abnimmt. Heute puffern die Ozeane noch über 90 % der globalen Erwärmung durch Wärmeaufnahme (siehe Hydrosphäre in Modul 3a) und Lösung von Kohlenstoffdioxid ab [21]. In Zukunft wird das weniger werden. Ob das Meerwasser  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre aufnimmt oder an diese abgibt, hängt von der Differenz im  $\text{CO}_2$ -Partialdruck ab: Der Partialdruck entspricht dem Anteil von  $\text{CO}_2$  am Gesamtdruck innerhalb eines Gasgemisches. Ist der Druck des Kohlenstoffdioxids in der Erdatmosphäre höher als der  $\text{CO}_2$ -Partialdruck im Ozean, so bindet das Oberflächenwasser des Ozeans Kohlenstoffdioxid. Allerdings ist der Partialdruck des  $\text{CO}_2$  im Meerwasser stark abhängig von der Temperatur: je wärmer das Wasser, desto höher ist er. Dies bedeutet, dass ein wärmerer Ozean weniger Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre aufnehmen kann als ein Ozean mit niedrigerer Temperatur. Also führt eine Temperaturerhöhung der Ozeane zu einer höheren Konzentration von  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre.

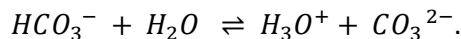
In der Erdatmosphäre reagiert  $\text{CO}_2$  nicht mit anderen Gasen. Im Meerwasser ist das anders: Das gelöste Kohlenstoffdioxid geht Verbindungen ein und so entsteht beispielsweise Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ):



Diese spaltet sich über die folgende Reaktion in Oxoniumionen ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) und Hydrogencarbonationen ( $\text{HCO}_3^-$ ) auf,

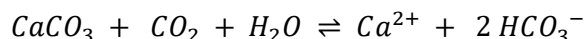


welche ihrerseits unter Energiezufuhr zu Oxoniumionen und Carbonationen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) weiterreagieren können:



Wir sehen: Je mehr  $\text{CO}_2$  im Wasser gelöst ist, desto mehr Oxonium bildet sich, d.h. desto saurer werden die Meere.

Das gelöste Kohlenstoffdioxid ist an einem weiteren Gleichgewicht beteiligt. Es beeinflusst die Bildung bzw. Lösung von Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ):



Erhöht sich die Konzentration des Kohlenstoffdioxids, so wird das Gleichgewicht auf die rechte Seite verschoben, sodass weniger Kalk gebildet wird, bzw. bestehender Kalk gar aufgelöst wird. Damit steht weniger Kalk als Baustoff für die Skelette und Schalen von Muscheln, Schnecken, Seeigeln, Korallen usw. zur Verfügung.

# Aktivitäten

## Aktivität 1 – Der Anstieg des Meeresspiegels



Cecilia Scorza  
und Moritz Strähle

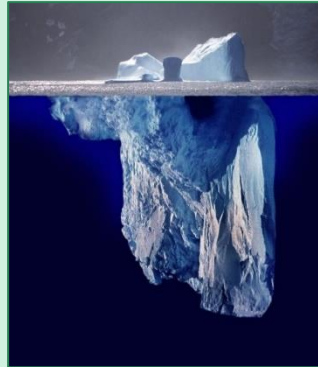
### Wie führt der Klimawandel zu einem Anstieg des Meeresspiegels?

#### Hintergrund:

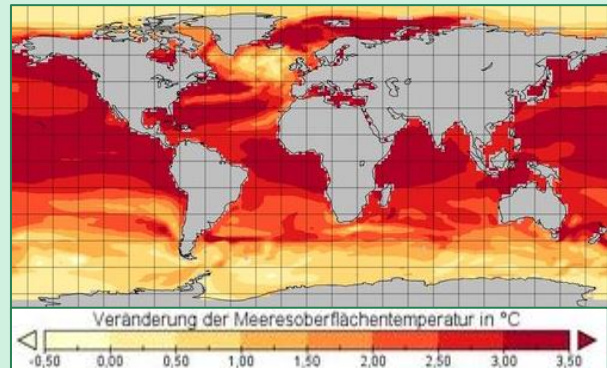
Auf Grund der globalen Erwärmung schmelzen aktuell große Eismassen an Land wie z.B. der Grönländische Eisschild oder Gletscher in den Alpen ab. Zudem steigt die Wassertemperatur der Ozeane an. Dies führt auch dazu, dass im Wasser schwimmende Eisberge schneller abschmelzen.



Gletscher auf Grönland  
(Quelle: Wikipedia)



Fotomontage eines Eisbergs  
(Credits: Uwe Kils)



Veränderung der Meeresoberflächentemperatur in °C  
Vergleich der Mitteltemperatur 2070-2099 im Vergleich zu 1961-1990 im Szenario RCP8.5 (Quelle: wiki.bildungsserver.de)

#### Materialien:

- ✓ Strahler
- ✓ Zwei 150ml Bechergläser
- ✓ Eiswürfel Pinguin und Eisbär
- ✓ Zwei flache Kieselsteine
- ✓ wasserlöslicher Filzstift
- ✓ Erlenmeyerkolben
- ✓ Gummistopfen mit Glasrohr



Experimente zum Anstieg des Meeresspiegels

#### Experiment 1: Steigt der Meeresspiegel aufgrund schmelzender Eisberge?

- Lege die Steine in eines der Bechergläser. Fülle dieses Becherglas soweit auf, dass nur der erste Stein unter Wasser ist und das andere mit ca. 80 ml mit kaltem Wasser. Stelle dann einen Eiswürfel auf die Steine, lasse den anderen im anderen Becherglas schwimmen und stelle die Bechergläser unter den Strahler. Markiere sofort jeweils den Wasserstand mit dem wasserlöslichen Filzstift! Fahre mit dem nächsten Experiment fort.

#### Experiment 2: Steigt der Meeresspiegel aufgrund der Erwärmung des Wassers?

- Fülle den Kolben mit Wasser und verschließe ihn mit Gummistopfen und Glasrohr, sodass das Wasser im Rohr bis zur Hälfte steht und sich keine Luftblasen bilden (evtl. einige Versuche nötig).
- Markiere den Pegel mit dem wasserlöslichen Filzstift und erwärme das Wasser im Kolben mit deinen Händen für einige Minuten. Beobachte solange auch die Eiswürfel.
- Notiere deine Beobachtungen zu beiden Experimenten und beschreibe in einer kurzen Zusammenfassung, warum es aufgrund der globalen Erwärmung zu einem Anstieg des Meeresspiegels kommt (und warum nicht). Beziehe dich dabei auch auf die Bilder des Hintergrundtexts sowie auf die Ergebnisse der Experimente.

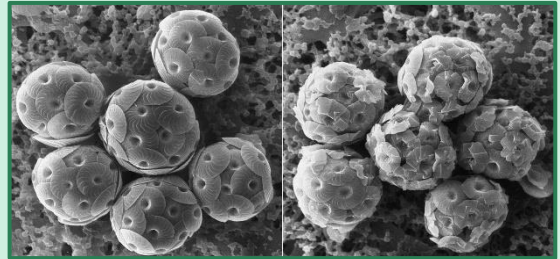


## Aktivität 2 – Die Versauerung der Ozeane

### Warum macht CO<sub>2</sub> die Ozeane sauer und welche Folgen hat dies?

#### Hintergrund:

Messungen des pH-Wertes in den Ozeanen zeigen eine zunehmende Versauerung des Wassers. Steigt in der Erdatmosphäre der Gehalt des Treibhausgases CO<sub>2</sub> (beispielsweise durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe), wird dieses auch vermehrt im Meerwasser gelöst und reagiert dort zu Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ ). Dies hat fatale Konsequenzen für das Leben dort lebender Algen und Tiere, die an das zunehmend saure Milieu nicht angepasst sind. Außerdem werden z. B. die Schalen von Kalkalgen dünner (siehe Abb.) und Korallen verlieren ihr Kalkskelett.



Kalkalgen: links heutiger Ozean, rechts Ozean mit hohem CO<sub>2</sub> Gehalt. [Quelle: IFM-GEOMAR]

#### Materialien:

- ✓ Zwei 50 ml Bechergläser
- ✓ Universalindikator mit pH-Wert-Tafel
- ✓ Zitronensäure, Natron und Wasser
- ✓ Erlenmeyerkolben mit Gummistopfen und Schlauch



Versuchsaufbau

#### Durchführung:

- Gib 50 ml Wasser in ein Becherglas und füge 15 Tropfen des Indikators hinzu, bis sich die Lösung deutlich verfärbt.
- Notiere dir den pH-Wert der Lösung.
- Gib die Hälfte der Lösung in das zweite Becherglas.
- Mische im Erlenmeyerkolben je einen Teelöffel Zitronensäure und Natron, gib anschließend vorsichtig etwas Wasser hinzu und leite das entstehende CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid) mit dem Schlauch in das Wasser im zweiten Becherglas (siehe Abbildung).
- Notiere dir den pH-Wert der Lösung im zweiten Becherglas.
- Beschreibe das Versuchsergebnis in einem Satz!

**Nicht wegschütten:**  
Die Lösung im zweiten Becherglas benötigst du für Aktivität 10!

#### Auswertung:

Beantworte mit Hilfe des Hintergrundtextes zu Versuch 1 und einer Internetrecherche unter nebenstehendem QR-Code folgende Fragen:

- ? Inwieweit tragen Ozeane scheinbar zu einer Verlangsamung des vom Menschen verursachten Treibhauseffektes bei?
- ? Welche Folgen hat die Versauerung der Ozeane für dessen Lebewesen?



# Literatur

- [1] R. M. Ramirez und L. Kaltenegger, „A Volcanic Hydrogen Habitable Zone,“ *The Astrophysical Journal Letters*, 1 März 2017.
- [2] G. Kopp und J. L. Lean, „A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 38, Nr. 1, Januar 2011.
- [3] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 3 Dezember 2013. [Online]. Available: [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo\\_\(einfach\)](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_(einfach)). [Zugriff am 27 Mai 2020].
- [4] P. D. Jones, M. New, D. E. Parker, S. Martin und I. G. Rigor, „Surface air temperature and its changes over the past 150 years,“ *Reviews in Geophysics*, Bd. 37, Nr. 2, p. 173–199, 1999.
- [5] P. T. Doran und M. K. Zimmerman, „Examining the Scientific Consensus on Climate Change,“ *Eos*, Bd. 90, Nr. 3, pp. 22-23, 2009.
- [6] S. Rahmstorf und H. J. Schellnhuber, *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie*, München: C.H.Beck, 2018.
- [7] „EU Science Hub,“ [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/global-fossil-co2-emissions-increased-2017>. [Zugriff am 2020 Mai 27].
- [8] T. F. Stocker, D. Qin und e. al., „Climate Change 2013,“ Cambridge University Press, New York, 2013.
- [9] „Umweltbundesamt,“ [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgas-methan>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [10] „The NOAA Annual Greenhouse Gas Index,“ NOAA, [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [11] T. M. Lenton, J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen und H. J. Schellnhuber, „Climate tipping points - too risky to bet against,“ *Nature*, Bd. 575, pp. 592-596, 2019.
- [12] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 10 September 2020. [Online]. Available: [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gr%C3%B6nlandischer\\_Eisschild](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gr%C3%B6nlandischer_Eisschild). [Zugriff am 21 09 2020].
- [13] „Scinexx,“ MMCD NEW MEDIA GmbH, 20 Dezember 2004. [Online]. Available: <https://www.scinexx.de/news/geowissen/wird-der-amazonas-regenwald-zur-steppe/>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [14] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 02 Dezember 2015. [Online]. Available: [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kippunkte\\_im\\_Klimasystem](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kippunkte_im_Klimasystem). [Zugriff am 21 09 2020].

- [15] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 5 Dezember 2013. [Online]. Available: [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlenstoff\\_im\\_Ozean](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlenstoff_im_Ozean). [Zugriff am 21 09 2020].
- [16] D. Coumou, S. Rahmstorf und weitere, „A decade of weather extremes,“ *Nature*, 2012.
- [17] X. Chen, X. Zhang, J. Church, C.S.Watson, M. King, D. Monselesan, B. Legresy und C. Harig, „The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014,“ *Nature Climate Change*, Bd. 7, pp. 492–495, 2017.
- [18] P. Christoffersen und M. B. e. al., „Significant groundwater contribution to Antarctic ice streams hydrologic budget,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 41, Nr. 6, pp. 2003-2010, 2014.
- [19] B. Schinke, S. Harmeling, R. Schwarz, S. Kreft, M. Treber und C. Bals, „Globaler Klimawandel: Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten,“ Germanwatch, Bonn, 2011.
- [20] C. Jakobeit und C. Methmann, „Klimaflüchtlinge,“ Universität Hamburg, Hamburg, 2007.
- [21] J. A. Church, N. J. White, L. F. Konikow, C. M. Domingues, J. G. Cogley, E. Rignot, J. M. Gregory, M. R. v. d. Broeke, A. J. Monaghan und I. Velicogna, „Revisiting the Earth’s sea-level and energy budgets from 1961 to,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 38, Nr. 18, pp. 1944-2007, 2011.
- [22] „Beobachteter Klimawandel,“ Umweltbundesamt, [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/beobachteter-klimawandel>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [23] „Klimafolgen: Handlungsfeld Wasser, Hochwasser- und Küstenschutz,“ Umweltbundesamt, 04 09 2013. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-wasser-hochwasser#wasserverfuegbarkeit-und-hitze>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [24] „Klima-Report Bayern 2015,“ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München, 2015.
- [25] B. f. Naturschutz. [Online]. Available: <https://www.bfn.de/themen/biotop-und-landschaftsschutz/moorschutz/moore-entstehung-zustand-biodiversitaet/moortypen.html>. [Zugriff am 20 10 2020].
- [26] D. G. f. M.-. u. T. e.V., „Was haben Moore mit dem Klima zu tun?,“ 2009.
- [27] H. Höper, „Freisetzung klimarelevanter Gase aus deutschen Mooren,“ *Telma*, Bd. 37, pp. 58-116, 2007.
- [28] A. u. M. D. Freibauer, „Moor unter: Klimaschutz,“ *Politische Ökologie*, Bd. 30, pp. 98-105, 2012.
- [29] „klimawandel-meistern.bayern.de,“ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, [Online]. Available: <https://www.klimawandel-meistern.bayern.de/moorschutz.html>. [Zugriff am 20 10 2020].

- [30] M. & K. M. Drösler, „Klimaschutz durch Moorschutz – im Klimaprogramm Bayern (KLIP 2020/2050),“ *Anliegen Natur*, Bd. 42, Nr. 1, pp. 31-38, 2020.
- [31] W. Steffen, J. Rockström, K. Richardson, T. M. Lenton, C. Folke, D. Liverman, C. P. Summerhayes, A. D. Barnosky, S. E. Cornell, M. Crucifix, J. F. Donges, I. Fetzer, H. Schellnhuber und weitere, „Trajectories of the Earth System in the Anthropocene,“ *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Bd. 115, Nr. 33, pp. 8252-8259, 2018.
- [32] J. Rogelj, P. Forster, E. Kriegler, C. Smith und R. Seferian, „Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets,“ *Nature*, Bd. 571, pp. 335-342, 2019.
- [33] J. Swim, P. Stern, T. Doherty, S. Clayton, J. Reser, E. Weber, R. Gifford und G. Howard, „Psychology's contributions to understanding and addressing global climate change,“ *American Psychologist*, Bd. 66, Nr. 4, p. 241–250, 2011.
- [34] „Am 15. März ist CO2-Tag: Deutschland am Limit,“ Zukunft Erdgas e.V., 2020. [Online]. Available: <https://zukunft.erdgas.info/ueber-zukunft-erdgas/expertenleistungen/kommunikation/kampagnen/co2-budget-deutschland>.
- [35] „Treibhausgas-Emissionen in Deutschland,“ Umweltbundesamt, 06 07 2020. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>. [Zugriff am 22 09 2020].
- [36] R. Goodland und J. Anhang, „Livestock and climate change,“ *World Watch*, Bd. 22, pp. 10-19, November 2009.
- [37] „Was haben Moore mit dem Klima zu tun?,“ Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde e.V., 2009.
- [38] V. Quaschnig, „Sektorkopplung durch die Energiewende,“ Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin, 2016.
- [39] V. Quaschnig, „volker-quaschnig.de,“ [Online]. Available: <https://www.volker-quaschnig.de/grafiken/index.php>. [Zugriff am 12 10 2020].
- [40] Umweltbundesamt, „CO2-Bepreisung in Deutschland,“ 2019.

## Weitere Literaturhinweise

- Bals, C. (2002): *Zukunftsfähige Gestaltung der Globalisierung. Am Beispiel einer Strategie für eine nachhaltige Klimapolitik*. In: Zur Lage der Welt 2002. Fischer Verlag.
- Bals, C. et al. (2008): *Die Welt am Scheideweg. Wie retten wir das Klima?* Rowohlt Verlag
- Buchal, C. und Schönwiese, C.D. (2010): *Klima – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten* Jülich/Frankfurt, Heraeus-Stiftung, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren
- Dincere, I. (2018): *Comprehensive Energy Systems*, Elsevier Verlag.

- Levke, C., Rahmstorf, S., Robinson, A., Feulner, G., Saba, V. (2018): *Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation*. In: Nature [DOI: 10.1038/s41586-018-0006-5]
- Church, J. und White, N. (2006): *A 20th century acceleration in global sea-level rise*  
In: Geophysical Research Letters, Vol. 33, L01602
- Hupfer, P. (1998): *Klima und Klimasystem*. In Lozan, J.L., H. Graßl und P. Hupfer: *Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Fakten*, Hamburg, S. 17–24.
- IPCC (2007a): *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis*  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents)
- IPCC (2007b): *Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*  
<http://www.ipcc-wg2.org/>
- IPCC (2007d): *Klimaänderungen 2007: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger*  
<http://www.proclim.ch/4dcgi/proclim/de/Media?555>.
- IPCC (2007e): *Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm).
- Jonas, H. (1984): *Prinzip Verantwortung*, Suhrkamp Verlag.
- Lenton, T.M. et al. (2008): *Tipping Elements in the Earth's Climate System*  
In: PNAS, Vol. 105.
- Lesch, H. und Kamphausen, K. (2016): *Die Menschheit schafft sich ab – Die Erde im Griff des Anthropozäns*, Komplett-Media.
- Rahmstorf, S. und Katherine Richardson, K. (2007): *Wie bedroht sind die Ozeane?*  
Fischer Taschenbuch Verlag.
- Rahmstorf, S. und Schellnhuber, H.J. (2018): *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie*  
Verlag C.H. Beck.
- Schüring, J. (2001): *Schneeball Erde*. Spektrumdirekt.
- Seifert, W. (2004): *Klimaänderungen und (Winter-)Tourismus im Fichtelgebirge – Auswirkungen, Wahrnehmungen und Ansatzpunkte zukünftiger touristischer Entwicklung*, Universität Bayreuth.
- Swim, J.K., Stern, P.C., Doherty, T.J., Clayton, S., Reser, J.P., Weber, E.U., Gifford, R., Howard, G.S. (2011): *Psychology's contributions to understanding and addressing global climate change*. *American Psychologist*, Vol 66(4), May–Jun 2011, 241–250.
- WBGU (2007): *Welt im Wandel – Sicherheitsrisiko Klimawandel*. Hauptgutachten. Berlin.  
[http://www.wbgu.de/wbgu\\_jg2007.html](http://www.wbgu.de/wbgu_jg2007.html).

