

Ein saures Erwachen

Wenn die Ozeane sauer werden: Die Versauerung der Weltmeere und ihre Folgen für das Ökosystem

Helena Blümel

Universität Bielefeld, Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld, helena.bluemel@uni-bielefeld.de

Durch die steigende Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre, verursacht durch menschliche Aktivitäten, nimmt die Versauerung der Meere zu. Der „böse Zwilling der Erderwärmung“ (Bär, 2022) kann fatale Auswirkungen auf die Meeresbewohner und uns Menschen haben, falls der Vorgang nicht gestoppt werden kann. Denn bisher befindet sich der Prozess der Ozeanversauerung noch im „sicheren Handlungsraum“ (Bundesministerium für Umwelt, 2024) und hat die planetaren Grenzen noch nicht überschritten. Doch das Risiko steigt mit der Zunahme an CO₂ in der Atmosphäre und der Erderwärmung.

Um sich diesen stillen Vorgang bewusst zu machen, führen zwei Unterrichtsstunden in die Thematik der Versauerung ein und überprüfen eine mögliche Folge durch ein Experiment.

Stichwörter: Versauerung, Meer, Experiment, Klimawandel, Erderwärmung, Ökologie, pH-Wert

1 Einleitung

Die Versauerung der Meere wird als wesentliches Umweltproblem verstanden, welches durch menschliche Aktivitäten weiter initiiert wird. Durch den erhöhten Kohlenstoffdioxidausstoß in die Atmosphäre der Erde nimmt der CO₂-Partialdruck zu. Derzeit werden ungefähr 30 % des Treibhausgases vom Ozean aufgenommen. Somit trägt das Meer erheblich zur Reduzierung der Erderwärmung bei, die durch den Anstieg der Treibhausgase hervorgerufen wird. Dazu ist der Ozean als natürliche Kohlenstoffsенке ein Akteur im Kohlenstoffkreislauf, welcher durch anthropogene Einflüsse negativ beeinflusst wird. An der Wasseroberfläche reagiert Kohlendioxid mit Wasser zu Kohlensäure. Die Senkung des pH-Wertes betrifft vor allem kalkbildende Organismen. Korallen, Muscheln oder einige Planktonarten werden durch die versauerte Umgebung geschädigt (Bär, 2022; GEOMAR, 2024). Noch befindet sich der Prozess der Versauerung in einem Handlungsrahmen, welcher zu beeinflussen ist (Bundesministerium für Umwelt, 2024). Denn der pH-Wert ist im Durchschnitt noch im leicht basischen Bereich von 8,2. Bei unveränderten Entwicklungen kann die Versauerung durch eine Abnahme von 0,3-0,4 zunehmen. Das entspricht einer Erhöhung des Säuregehalts um 100-150 % (Umweltbundesamt, 2024).

Im schulischen Kontext lässt sich das Thema effektiv in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren. Grundsätzlich werden Schüler*innen für anthropogene Einflüsse auf die Umwelt

sensibilisiert, welche durch das Experiment erfahrbar gemacht werden. Durch den interdisziplinären Ansatz werden im Zuge der Unterrichtsstunde biologische, chemische und gesellschaftspolitische Aspekte verknüpft.

2 Sachanalyse

2.1 Das Meer als Kohlendioxidspeicher

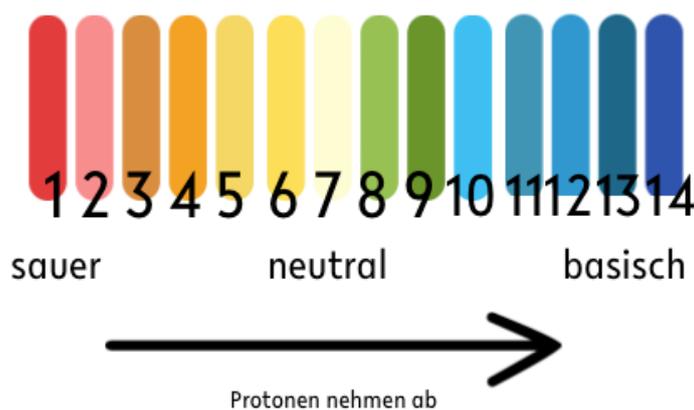
Ozeane gehören zu den wichtigsten Kohlendioxidspeichern (Umweltbundesamt, 2024). Neben den Meeren speichern Moore und große Wälder erhebliche Mengen von Kohlendioxid, das als eine natürliche Kohlenstoffsene bezeichnet werden kann (Pieper & Baumann, kein Datum). Doch ist der Ozean der wichtigste Kohlendioxidspeicher, denn er bedeckt circa 71% der Erde (Krautwig, 2022). Zudem ist er ein wesentlicher Akteur im Kohlenstoffkreislauf. Das Meer sorgt als marine Kohlenstoffpumpe dafür, dass CO_2 in die Tiefsee gelangt und für Hunderte Jahre gespeichert wird (Hempel et al., 2020). Das Meer und die Atmosphäre stehen also im ständigen Austausch. Je mehr Kohlenstoffdioxid sich in der Atmosphäre befindet, desto mehr findet auch die Aufnahme an der Wasseroberfläche statt (Liebezeit, 2011). Wie genau das Kohlendioxid in das Meer gelangt und durch welche Faktoren es beeinflusst wird, wird in Kapitel 2.2 beschrieben. Laut einer Studie speichert das Meer ungefähr 30 % des zusätzlichen menschengemachten Kohlendioxids seit der Industrialisierung (Gruber et al., 2019). Auch die Wasserdichte spielt eine Rolle bei der Aufnahme. Je kälter das Wasser ist, desto höher ist die Dichte. Daher sind Arktis und Antarktis besonders aufnahmefähig. Zudem sinken sie durch die Wassermasse eher in die Tiefe, jener Vorgang wiederum relevant für den Kohlenstoffkreislauf ist. Neben dem physikalischen Prozess der Senke fällt auch auf biologischem Wege CO_2 in die Tiefe (Umweltbundesamt, 2024). Die als Meerschnee bezeichnete Biomasse entsteht aus zum Beispiel abgestorbenen Algen und Tieren, aber auch Phytoplankton (Frings, 2020).

Verschiedene Prozesse verändern die Aufnahmekapazität der Meere. Dieser natürliche Kreislauf wird durch den anthropogenen Klimawandel gestört. Das Meer ist einer weiteren Belastung ausgesetzt, denn der vermehrte Ausstoß von Treibhausgasen, wie das CO_2 gelangen zusätzlich in die Atmosphäre. Der Kohlendioxid ausstoß wird unter anderem durch Verkehr, Industrien, in der Landwirtschaft, bei Waldrodungen und Verbrennung fossiler Energieträger verstärkt (Krieger & Nicolai, 2022; Liebezeit, 2011).

2.2 Der Prozess der Versauerung und die Ursachen

Die Versauerung der Meere beschreibt grundsätzlich die Abnahme des pH-Wertes der Ozeangewässer. Der pH-Wert (*potentia hydrogenii*) beschreibt das Potential des Wasserstoffs. Es wird als Maß für Eigenschaften wässriger Lösungen genutzt. Eine Lösung kann sauer (beginnend

mit dem pH-Wert von eins) über neutral (pH-Wert von sieben) bis basisch oder alkalisch sein (pH-Wert bis 14). Die Skala (siehe Abbildung eins) zeigt somit den Säure-Basen-Charakter an. Zu betonen ist, dass die Skalierung der Wasserstoffionen nach dekadischem Logarithmus angepasst ist. Die Konzentration von Wasserstoffionen (H^+) ist für den Charakter entscheidend: Je höher der Protonenanteil ist, desto saurer die Lösung (Urry et al., 2019)



Wissenschaftler*innen fanden in Studien heraus, dass sich der pH-Wert der Weltmeere verringert. Aktuell liegt der Durchschnittswert bei 8,2. Das bedeutet die Gewässer sind leicht basisch (Umweltbundesamt, 2024). Heute ist der Wert so hoch wie seit 20 Millionen Jahren nicht mehr (GEOMAR, 2024)

Abbildung 1: Eingefärbte pH-Wert Skala.

Es konnte nachgewiesen werden, dass das Absinken des pH-Werts mit der Zunahme des atmosphärischen Kohlendioxids parallel zusammenhängt. Dabei variiert der pH-Wert durch geografische Faktoren. Denn kühlere Gewässer nehmen mehr Kohlendioxid auf. Demnach ist der pH-Wert in den Polarregionen saurer als in tropischen Breitengraden. Zudem spielt die biologische Produktivität eine Rolle (Umweltbundesamt, 2024).

Durch einen gesteigerten CO_2 Wert in der Atmosphäre nimmt somit auch der Partialdruck zu. Die erhöhten Werte können auf den anthropogenen Klimawandel zurückgeführt werden. Verbrennung fossiler Energieträger, Waldrodungen, Entwässerung von Mooren, Industrien und Verkehr sind wesentliche menschengemachte Eingriffe, die für eine erhebliche CO_2 Freisetzung sorgen (Umweltbundesamt, 2024). Der erhöhte Partialdruck des Treibhausgases ist nur ein Faktor, welcher den Gasaustausch zwischen Meer und Atmosphäre fördert. Auch die Temperatur des Wassers ist relevant. Durch eine steigende Temperatur des Wassers sinkt die Aufnahmefähigkeit (GEOMAR, 2024).

Der chemische Prozess der Versauerung lässt sich mit zwei wesentlichen Reaktionen beschreiben, die dafür sorgen, dass sich die Zustände im Meer verändern (siehe vereinfachte Version in Abbildung zwei). Kohlenstoffdioxid und Wasser (H_2O) reagieren kurzfristig zu Kohlensäure (H_2CO_3). Dieses zerfällt zu Hydrogencarbonat (HCO_3^-) und ein positives Wasserstoffion (H^+). Mehr Protonen führen zu einer Verringerung des pH-Wertes. Die zweite Reaktion, welche gleichzeitig abläuft, ist die Bildung von Hydrogenkarbonat (HCO_3^-), welches sich aus einem Proton und einem Karbonation (CO_3^{2-}) zusammensetzt. Karbonationen sind wichtige Bestandteile für kalkbildende Organismen (Krieger & Nicolai, 2022). Wenn diese Ionen durch die Reaktion abnehmen, verringert

sich die Verfügbarkeit für Kalkalgen, Muscheln oder Korallen. Es wird ersichtlich, welche Auswirkungen die Erhöhung von CO_2 auf die Meere haben kann: Nicht nur die Absenkung des pH-Wertes, auch die Abnahme von Karbonationen, als wichtiger Baubestandteil von Meeresbewohnern, haben erhebliche Auswirkungen auf alle Meeresbewohner und Zustände im Meer (GEOMAR, 2024).

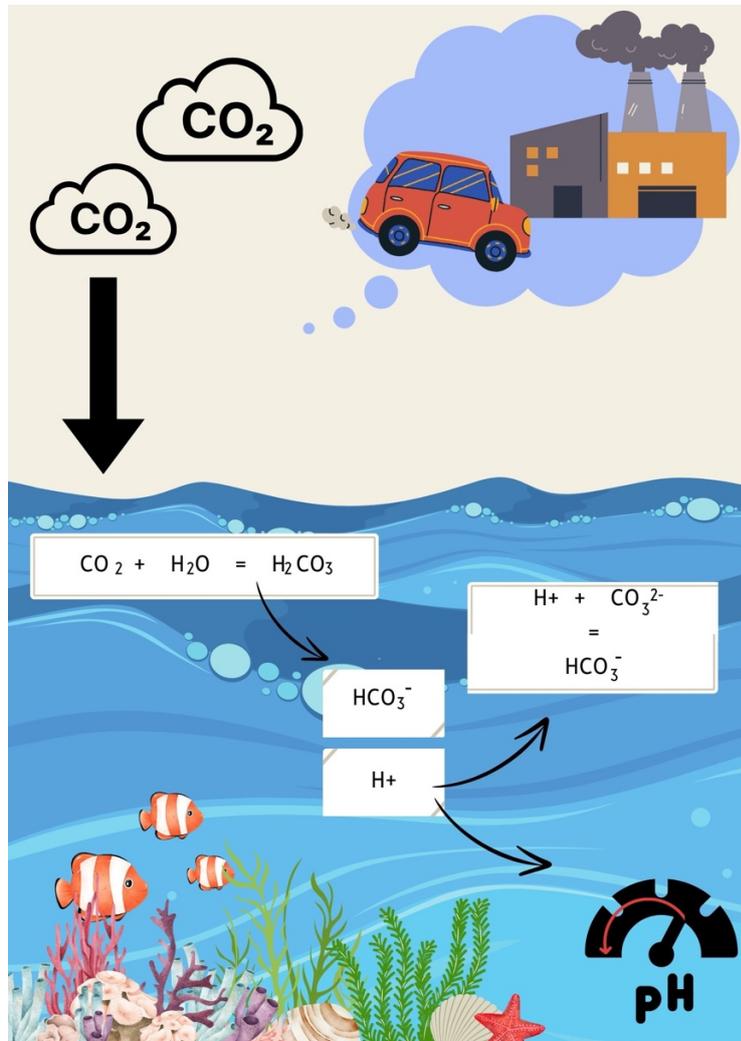


Abbildung 2: Vereinfachte Abbildung des Versauerungsprozesses im Meer.

Neben der Verringerung der Karbonationen spielt die Verringerung des pH-Wertes eine negative Rolle. Dieser sorgt dafür, dass sich Kalk auflöst. Kalk ist in neutralen Lösungen stabil. Allerdings löst sich der Kalk bei sauren Lösungen auf, denn durch die Reaktion von Säure und Calciumcarbonat entsteht Calciumacetat und Kohlensäure. Die Kohlensäure zerfällt wieder zu Kohlenstoffdioxid und Wasser ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) (ebd.).

In den letzten 200 Jahren ist der Wert auf 8,1 gesunken. Das bedeutet, dass das Meer um 30 % sauer geworden ist (Umweltbundesamt, 2024). Wie sich aus dem kurzen Zeitraum bereits schließen lässt, trägt der Mensch zu dieser Entwicklung bei. Die

Entwicklung des pH-Werts der Meere fällt laut Prognosen negativ aus: Im Jahr 2100 wird eine weitere Abnahme von 0,3-0,4 erwartet. Das entspricht eine Versauerung von 100-150 % (ebd.).

2.3 Die Folgen der Ozeanversauerung

Nicht nur einzelne Meeresbewohner sind von der Versauerung betroffen, sondern das ganze Ozean-Ökosystem. In der Arktis und Antarktis werden zuerst Änderungen sichtbar sein, da diese kühlen Regionen am anfälligsten für die Versauerung sind (Bär, 2022).

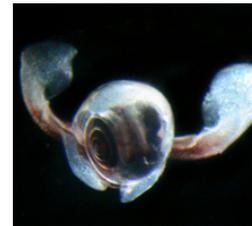


Abbildung 3: In den Polarregionen kann durch kühle Gewässer mehr CO₂ aufgenommen werden, daher werden sich hier an den ehesten Auswirkungen der Versauerung zeigen (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iceberg_in_the_Arctic_with_its_underside_exposed.jpg)

Allen voran verändert sich der Säure-Basen-Haushalt mariner Lebewesen. Die können die Veränderung unterschiedlich „gut“ kompensieren. Es muss jedoch mehr Energie aufgewandt werden, um den Haushalt durch die Veränderungen auszugleichen. Es handelt sich um Energie, die eigentlich der Reproduktion und Wachstum gewidmet wird (Alfred-Wegener-Institut, 2022; Umweltbundesamt, 2024). Vor allem vermindert sich die Überlebensfähigkeit für Jungfische und Larven beziehungsweise Eier. Dorschlarven würden ab 2100 eine gesteigerte Sterblichkeitsrate aufweisen. Schlangensterne, Seeigelembryos,

Austern und Flügelschnecken sind nur einige der Lebewesen, die erheblich von der Versauerung in Mitleidenschaft gezogen werden. Insgesamt ist so das Überleben verschiedener Arten hoch gefährdet (Alfred-Wegener-Institut, 2022; GEOMAR, 2024).

Wie bereits beschrieben verschiebt sich das chemische Gleichgewicht, was zu einer Abnahme von Karbonationen führt. Die sogenannte Biomineralisation von Korallen oder Meeresschnecken verhindert die Bildung von Kalk. Korallen, Stachelhäuter wie Seeigel oder Seesterne bestehen aus einem kalkhaltigen Skelett (Bär, 2022). So leiden auch diese Meeresbewohner unter den veränderten Bedingungen.



Auch einige Krebse und Muscheln, die kalkhaltige Schalen bilden, sind betroffen. Nicht nur die

Abbildung 4: Kleine Flügelschnecke (*Limacina helicina*) (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Limacina_antarctica.png)

verringerte Verfügbarkeit ist schädlich, sondern die Versauerung selbst. Im schlimmsten Fall lösen sich die kalkhaltigen Schalen und Skelette durch Veränderung des pH-Werts auf. Es konnte in einem Versuch herausgefunden werden, dass die Flügelschnecke ihre Schale innerhalb zwei Tagen verliert, wenn das Lebewesen sich im Meerwasser befindet, welches laut Prognosen im Jahr 2100 vorzufinden ist (GEOMAR, 2024).

Im Hinblick auf den Kohlenstoffkreislauf besteht die Möglichkeit, dass die „Schalenwände der kalkbildenden Phytoplankton-Arten im saureren Wasser dünner und kleiner“ (Alfred-Wegener-Institut, 2022) sind, was wiederum dafür sorgt, dass sie schlechter in die Tiefe sinken und sich ablagern können (ebd.)

Dahingehend profitieren Lebewesen, die Photosynthese betreiben: Verschiedene Algen, Cyanobakterien und Gräser steigern durch die vermehrte Verfügbarkeit von CO₂ die Photosyntheseleistung. Die Gefahr liegt vor allem in der ungehinderten Vermehrung von toxischen Algen oder Quallen, da durch die Verringerung der Fischbestände, weniger Konkurrenz und Fressfeinde vorhanden sind (GEOMAR, 2018).

Nicht nur die Ozeanversauerung wirkt sich auf das Leben im Meer aus, zusätzlich erhöhen sich die Überfischung, Verschmutzung und Schadstoffe in den Meeren. Auch die Temperatur steigt und die Eutrophierung nimmt zu, welche die Meeresbewohner vor Überlebensschwierigkeiten stellt (GEOMAR, 2024).

2.4 Experimenteller Nachweis von Kalk mit Säure

Um zu überprüfen, wie saure Umgebungen (pH-Wert unter 7) auf kalkhaltige Substanzen wirken, kann ein simples Experiment aus beiden Komponenten durchgeführt werden, um die Korrosion zu demonstrieren.

Im idealen Fall werden Muscheln verwendet, welche laut Literatur auch durch Eierschalen oder Schneckenhäuser ersetzt werden können. Der chemische Fachbegriff für Kalk ist Calciumcarbonat (CaCO_3). Wie sich aus der Summenformel schließen lässt, verbinden sich Calcium, Kohlenstoff und Sauerstoff miteinander. Es handelt sich um ein farb- und geruchsloses Element, welches im Wasser (pH-Wert von 7) weitgehend unverändert bleibt O . Eine Säure, wie Essigessenz (CH_3COOH) oder handelsübliche Zitronensäure aus der Haushaltsabteilung, wirkt schädigend auf kalkhaltige Objekte. Die Säure reagiert mit Calciumcarbonat und zerfällt in Calciumacetat und Kohlensäure. Daraufhin zerfällt die Kohlensäure in Kohlendioxid und Wasser. Deswegen steigen kleinere Luftblasen in der Flüssigkeit auf (simplicyscience, 2014) (siehe Abbildung 5).

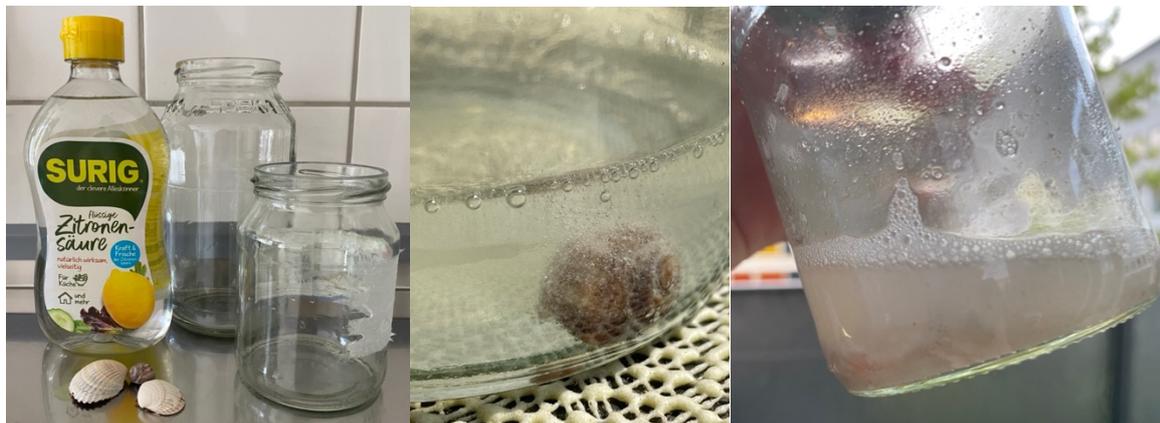


Abbildung 5: Experimenteller Aufbau aus Zitronensäure, Muscheln und Wasser. Zudem der Ablauf der Kalkauflösung.

3 Didaktisch-Methodischer Kommentar

3.1 Einbettung in den Kernlehrplan und Lernzielformulierung

Im Folgenden werden die beiden Unterrichtsstunden vorgestellt und didaktisch begründet. Behandelt wird das Thema: „Ein saures Erwachen: Die Ursachen und Folgen der Ozeanversauerung und Überprüfung anhand eines Experiments.“ Einbetten lassen sich diese beiden Stunden in das „Inhaltsfeld 5: Ökologie“ (Ministerium für Schule und Weiterbildung, 2014, S. 34), für die Sekundarstufe zwei, da in dieser Unterrichtsreihe vor allem die Veränderung des Ökosystems Meer durch Eingriffe des Menschen behandelt wird.

Inhaltlich wird sich mit dem Vorgang der Versauerung beschäftigt, sodass im Anschluss ein Experiment durchgeführt werden kann und Handlungsalternativen formuliert werden können. Daher leitet sich für das Unterrichtsvorhaben folgendes Lernziel ab:

Die Schülerinnen und Schüler präsentieren und erklären auf Grundlage von Untersuchungsdaten die Wirkung von anthropogenen Faktoren auf einen ausgewählten globalen Stoffkreislauf (K1, K3, UF1) (Ministerium für Schule und Weiterbildung, 2014, S. 36), indem sie mithilfe des Vorgangs der Versauerung der Meere durch den menschengemachten Klimawandel aufgrund des zusätzlichen Ausstoß des Treibhausgases CO₂ mittels eines Experiments an Muscheln untersuchen, wie Essig auf Kalk wirkt, um daran zu erläutern, wie sich die Versauerung auf kalkbildende Lebewesen auswirkt.

3.2 Konzeptioneller Aufbau

3.2.1 Der Einstieg

Um die Stunde einzuleiten kann die Abbildung sechs (siehe Anhang S. 14) als stiller Impuls genutzt werden. Zunächst soll die Abbildung beschrieben werden. Im Anschluss können Deutungsansätze in einem Gespräch gesammelt werden. Die Abbildung soll in die Thematik der Versauerung einführen und somit zur Problemfindung führen.

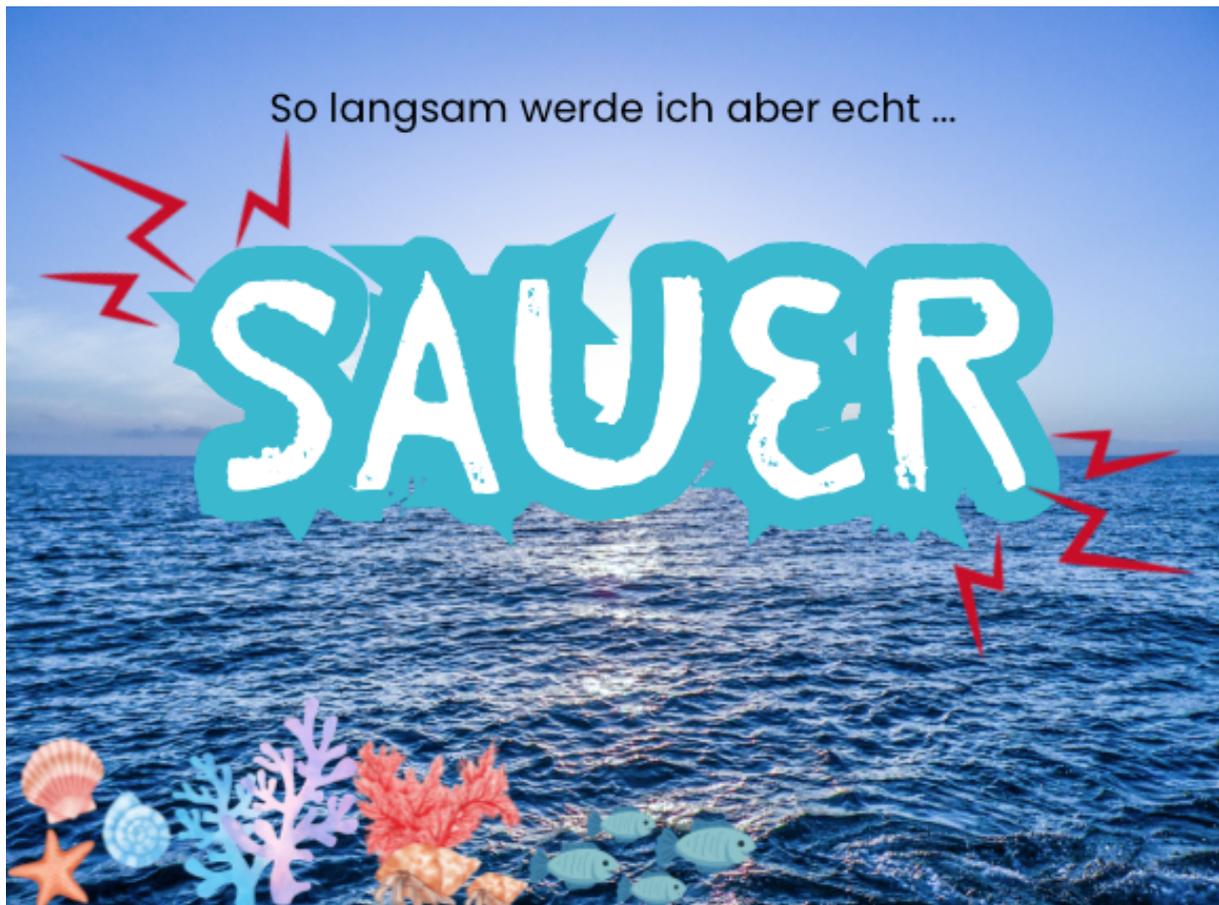


Abbildung 6: Bild für den Einstieg in den Unterricht.

Um den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg zu befolgen, sollte im idealen Fall mit dem Bildimpuls verschiedene Probleme abgeleitet werden, die im folgenden Verlauf gelöst werden. Als Grundlage sollte die Versauerung der Meere als Hauptproblem besprochen werden. Deshalb ist das Bild so gestaltet, dass durch das Stichwort „sauer“ und das Meer in die Richtung des Themas eingeleitet werden kann. Auch die Abbildungen verschiedener Meereslebewesen sind ein Hinweis dafür, dass diese eine Rolle bei der Versauerung spielen. So könnte der Anthropomorphismus mit der „menschlichen Emotion“ von Wut interessant und kognitiv aktivierend wirken. Vor allem wenn zunächst beschrieben und Interpretationen gesammelt werden, können möglichst viele Schüler*innen teilnehmen. Je nach Vorwissen der Lerngruppe können Stichpunkte wie pH-Wert, Versauerung, Nachhaltigkeit oder Klimawandel auftreten. Die Hinführung zu der übergeordneten Stundenfrage gelingt, wenn die leitende Lehrperson die Interpretationen sammelt und mit der Lerngruppe das Problem der Versauerung und der negativen Folgen formuliert.

3.2.2 Die Erarbeitung der Versauerung

Den Schüler*innen bekommen in der ersten Erarbeitungsphase einen Informationstext (Anhang S. 15, AB0) über den Prozess der Versauerung und weiteren Informationen über den pH-Wert und der Zusammensetzung von Kalk. So kann die Lerngruppe eigenständig das Arbeitsblatt 1 (Anhang

S. 17, 18) bearbeiten. Der Prozess der Versauerung in Aufgabe eins ist didaktisch reduziert, sodass die Grundlage der Protonenzunahme und der Verbindung zum pH-Wert zugänglicher ist.

Die erste Erarbeitungsphase schafft somit einen inhaltlichen Einstieg in die Thematik der Versauerung. Je nach Leistungsstand der Schüler*innen kann eins von zwei Arbeitsblättern gewählt werden, welche im Sinne der inhaltlichen Differenzierung auf zwei Niveaustufen konzipiert sind. Der Prozess der Versauerung durch die Protonenzunahme ist mit einem Stern versehen. Das Arbeitsblatt mit zwei Sternen beinhaltet zusätzlich die Abnahme der Karbonationen.

In der Zwischensicherung (siehe Kap. 3.2.2) können die chemischen Vorgänge und die chemischen Bezeichnungen thematisiert werden. Dies stellt aber keine Grundlage für den weiteren Verlauf des Unterrichtsvorhaben da, da es fachlich anspruchsvoll ist. Lediglich der erste inhaltliche Zugang soll geschaffen werden und für Leistungsstarke einen kognitiven Anreiz geschaffen werden.

3.2.3 Zwischensicherung zum Versauerungsprozess

Nun sollen die ersten Ergebnisse gesammelt werden, sodass eine gemeinsame fachliche Grundlage für die Schüler*innen geschaffen wird. Im ersten Schritt werden die Aufgaben auf Richtigkeit geprüft. Im Anschluss kann die Abbildung zwei zum Unterrichtsgespräch (siehe S.16) hinzugezogen werden. Diese umfasst nicht nur die Zunahme der Wasserstoffionen, die zu der Versauerung beitragen, sondern auch der Abbau von Karbonationen, welche erhebliche Auswirkungen auf kalkbildende Lebewesen hat. Genau diese Hinführung ist relevant für den folgenden Versuch.

3.2.4 Das Experiment

Das Experiment, welches im „AB2“ angeleitet wird, ermöglicht eine Untersuchung von Muscheln in Essigsäure, um die Korrosion zu demonstrieren (siehe S. 21). Das simple Experiment startet, indem Muscheln (Alternative: Eierschalen) in Essigsäure (Alternative: Zitronensäure) gelegt und der Behälter verschlossen wird. Sichtbare Prozesse sind schnell einsehbar. Deshalb sollten vor dem Experiment bereits Hypothesen für das mögliche Ergebnis des Versuchs gesammelt werden, die im Anschluss überprüft werden können.

Das Experiment ist simpel und braucht keine besonderen Materialien. Trotzdem ist die Anschaulichkeit und der Bezug zur Alltagswelt enorm ausgeprägt.

3.2.5 Der Transfer und Ausblick

Die zweite Unterrichtseinheit startet mit dem Ergebnis des Experimentes. Im idealen Fall haben sich Teile der Muschel aufgelöst oder sind ganz verschwunden. Zunächst sollte das Experiment in Kleingruppen besprochen werden. Hierzu kann das „AB3“ (siehe Anhang S. 22) hinzugezogen

werden. Hier sollen die Schüler*innen zunächst die Reaktion der Auflösung von Kalk erläutern. Die Hypothese kann mit Arbeitsblatt drei überprüft werden, denn hier wird der chemische Prozess kurz erläutert. Mit dem Wissen wird es der Lerngruppe ermöglicht im Anschluss Lösungsansätze entgegen dem Prozesse der Versauerung zu formulieren. Zentral sind Maßnahmen, um den CO₂ Gehalt in der Atmosphäre zu verringern. Dazu kann auch im Internet recherchiert werden, sodass die diversen Maßnahmen in Form eines Plakats dargestellt werden können.

4 Literaturverzeichnis

- Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI). . (2022). *Fakten zur Ozeanversauerung*. Von Das Wissen zu saureren Meeren auf einen Blick. abgerufen
- Bär, K. (2022). *Ozeanversauerung*. Abgerufen am Mai 2024 von Der böse Zwilling der Klimaerwärmung: <https://www.awi.de/im-fokus/ozeanversauerung/ozeanversauerung-der-boese-zwilling-der-klimaerwaermung.html>
- Bundesministerium für Umwelt, N. n. (2024). *Planetare Belastbarkeitsgrenzen*. Abgerufen am Mai 2024 von <https://www.bmu.de/WS4559>
- Frings, I. (2020). *Helmholtz Blogs*. Abgerufen am Mai 2024 von Highlight Thema: Rätsel um den Schnee im Meer: <https://blogs.helmholtz.de/kuestenforschung/2020/05/04/highlight-thema-raetsel-um-den-schnee-im-meer/#comments>
- GEOMAR. (2018). *Ozeanversauerung begünstigt Massenvermehrung giftiger Alge*. Abgerufen am Mai 2024 von <https://www.geomar.de/news/article/ozeanversauerung-beguenstigt-massenvermehrung-giftiger-alge/>
- GEOMAR, Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel. (2024). *Ozeanversauerung - das andere Kohlendioxid-Problem*. Abgerufen am Mai 2024 von <https://www.geomar.de/entdecken/ozean-und-klima/ozeanversauerung>
- Gruber, N., Clement, D., Carter, B. R., Feely, R. A., Van Hueven, M., Ishii, M., . . . Sabine, C. (2019). *Science*. Abgerufen am Mai 2024 von The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aau5153>
- Hempel, G., Bischof, K., & Hagen, W. (2020). *Faszination Meeresforschung. Ein ökologisches Lesebuch*. Bremen: Springer-Verlag.
- Krautwig, T. (2022). *Helmholtz Klima Initiative*. Von Die Bedeutung der Meere für das Klima: <https://helmholtz-klima.de/aktuelles/die-bedeutung-der-meere-fuer-das-klima#> abgerufen
- Krieger, A., & Nicolai, M. (2022). *Helmholtz Klima Initiative*. Abgerufen am Mai 2024 von Planetare Grenzen: Die Ozeane werden saurer: <https://helmholtz-klima.de/planetare-grenzen-meere-versauerung>
- Liebezeit, G. (2011). Meereschemie und globaler Klimawandel. In J. L. al., *Warnsignal Klima: Die Meere - Änderungen und Risiken. Wissenschaftliche Auswertungen*. Hamburg.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2014). Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Biologie. Düsseldorf.

Pieper, B., & Baumann, L. (kein Datum). *Die unterschätzten Klimaschützer*. Abgerufen am Mai 2024 von Moore als Kohlenstoffspeicher: <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/moore/moore-und-klimawandel/13340.html>

simplyscience. (2014). *Muscheln in Essigwasser auflösen*. (Simply science) Abgerufen am Mai 2024 von <https://www.simplyscience.ch/kids/experimente/muscheln-in-essigwasser-aufloesen#:~:text=So%20wird's%20gemacht%3A,zwei%20bis%20drei%20Tagen%20ganz>.

Umweltbundesamt. (2024). *Meere unter Druck - Ozeanversauerung durch CO₂*. Abgerufen am Mai 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/meere/nutzung-belastungen/meere-unter-druck-ozeanversauerung-durch-co2#ozeane-kohlenstoffdioxid-speicher>

Urry, L., Cain, M., Wassermann, S., Minorsky, P., & Reece, J. (2019). *Campbell Biologie*. Hallbergmoos: Pearson.

5 Anhang



ABO

Die Meere werden sauer!



Name:

Datum:

Die Ozeanversauerung wird auch als bösen Zwilling der Erderwärmung bezeichnet. Doch wieso werden die Meere saurer und was bedeutet "sauer" eigentlich im Kontext des Meeres?

Das Meer bedeckt mehr als zwei Drittel der Erde und kann somit viel Kohlendioxid (CO₂) aufnehmen. Ungefähr ein Drittel des menschenverursachten Kohlendioxid kann das Meer bisher aufnehmen, sodass es sich nicht mehr in der Atmosphäre befindet. Das ist gut, denn durch mehr CO₂ in der Atmosphäre würde die globale Erderwärmung schneller ablaufen. Die Menschen stoßen vor allem seit der Industrialisierung durch Industrien, den Verkehr, Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle und Waldrodungen mehr Kohlendioxid aus. Das Treibhausgas wird normalerweise von Pflanzen aufgenommen und als Sauerstoff durch die Photosynthese abgegeben. Moore, Meere und Wälder sind auch wichtige CO₂-Speicher.

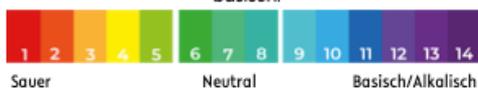
An der Wasseroberfläche reagiert Kohlendioxid (CO₂) mit Wasser (H₂O) zu Kohlensäure (H₂CO₃). Daran anschließend werden Wasserstoff-Ionen (H⁺) freigesetzt. Diese Reaktion lässt das Wasser sauer werden, denn die Protonen (also positiv geladenen Wasserstoffionen) sorgen dafür, dass der pH-Wert abnimmt, also sauer wird.

Was ist nochmal der pH-Wert? ✕

Der pH-Wert gibt die Eigenschaften einer Flüssigkeit an und ist von der Menge der Wasserstoff-Ionen in der Flüssigkeit abhängig. Die Abkürzung beschreibt das "Gewicht der Wasserstoffionen".

Die Flüssigkeit kann neutral (7) sein. Wasser hat den pH-Wert von 7.

Je niedriger der pH-Wert ist, desto saurer wird die Lösung. Die Wasserstoffionen steigen dann. Das Meerwasser hat aktuell einen pH-Wert von 8,2. Das bedeutet es ist leicht basisch.



Der pH-Wert des Magens liegt z.B. zwischen 1,5 und 2. Klassische Handseife hat einen pH-Wert von 12.

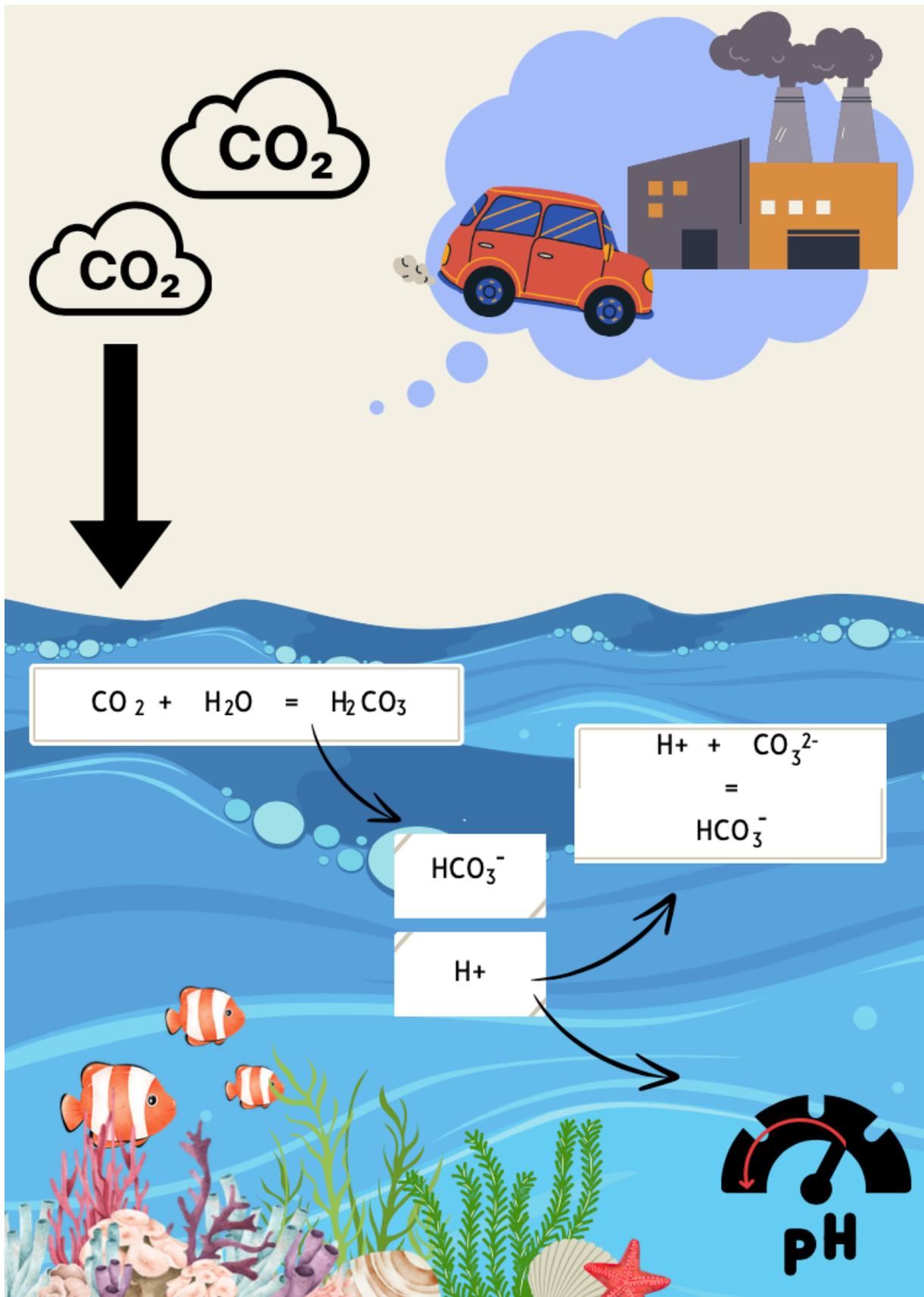
Es finden zwei Reaktionen statt, die erheblich zu der Versauerung der Meere beitragen. Zum einen ist es

die Entstehung von Kohlensäure und der Freisetzung von Wasserstoff-Ionen > pH-Wert sinkt.

und die Reaktionen zwischen Wasserstoffionen und Karbonationen zu Hydrogencarbonat > Anzahl Karbonat-Ionen sinkt

Karbonat ist ein wichtiger Bestandteil, um Kalk zu bilden. Das benötigen Muscheln oder Korallen, um ihre Schale und Skelette aufzubauen.

Der Prozess Ozeanversauerung beschreibt also, dass der pH-Wert des Meerwassers sinkt. Da vermehrt CO₂ in die Atmosphäre ausgestoßen wird, reagiert das Treibhausgas an der Meeresoberfläche auch mehr zu Kohlensäure. Dies ist eine Gefahr für die Meeresbewohner. Denn die Lebewesen müssen durch einen veränderten pH-Wert mehr Energie aufbringen ihren Säure-Basen-Haushalt zu regulieren. Dazu entsteht die Schwierigkeit Schalen und Skelette aufzubauen, auf die Seesterne, Muscheln, Schnecken und Korallen angewiesen sind.





AB1

Die Meere werden sauer!



Name:

Datum:

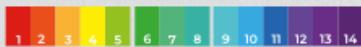
Aufgabe 1: Beschrifte die Abbildung mit Hilfe des Textes.



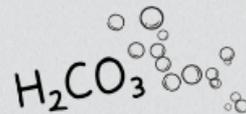
1.

2.

3.



6.



4.

5.

Aufgabe 2: Erkläre den Ablauf der Ozeanversauerung



Beziehe dich auf die beiden Reaktionen, die zu der Versauerung führen, aber auch die Abnahme der Karbonationen.

☆☆
AB1

Die Meere werden sauer!

Name: _____
Datum: _____

Aufgabe 1: Beschrifte die Abbildung mit Hilfe des Textes.

The diagram illustrates the process of ocean acidification. It shows a sad Earth with factories and a car, representing CO₂ emissions. A cloud labeled CO₂ is shown above the ocean. Arrows indicate the exchange of CO₂ between the atmosphere and the water. In the water, CO₂ reacts to form H₂CO₃, which then dissociates into H⁺ and HCO₃⁻. A pH scale from 1 to 14 is shown, with an arrow pointing to the acidic range (pH 6-8). A plus sign with H⁺ is also shown.

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6a. _____

6b. _____

7. _____

Aufgabe 2: Erkläre den Ablauf der Ozeanversauerung

! Beziehe dich auf die beiden Reaktionen, die zu der Versauerung führen, aber auch die Abnahme der Karbonationen.

Die Meere werden sauer!



Name:

Datum:

Aufgabe 1: Beschrifte die Abbildung mit Hilfe des Textes.



1. Menschliche Einflüsse wie Verkehr, Industrien etc.



2. Zunahme von Kohlendioxid in der Atmosphäre



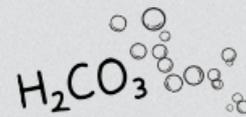
3. Gasaustausch an der Meeresoberfläche nimmt zu, durch gesteigerten Partialdruck



6. pH-Wert sinkt ab, durch die Zunahme von Protonen



5. Zunahme von Wasserstoffionen



4. Bildung von Kohlensäure und Freisetzung von Wasserstoff Ionen

Aufgabe 2: Erkläre den Ablauf der Ozeanversauerung



Beziehe dich auf die beiden Reaktionen, die zu de Versauerung führen, aber auch die Abnahme der Karbonationen.



Die Meere werden sauer!

Name: _____
Datum: _____

Aufgabe 1: Beschrifte die Abbildung mit Hilfe des Textes.

The diagram illustrates the process of ocean acidification. It shows a sad Earth with smokestacks (1), CO₂ in the atmosphere (2), gas exchange at the surface (3), H₂CO₃ formation (4), a pH scale shifting from 8 to 6 (5), H⁺ ions (6a), HCO₃⁻ ions (6b), and a crossed-out shell (7).

1. Menschliche Einflüsse wie Verkehr, Industrien etc.
2. Zunahme von Kohlendioxid in der Atmosphäre
3. Gasaustausch an der Meeresoberfläche nimmt zu, durch gesteigerten Partialdruck
4. Bildung von Kohlensäure und Freisetzung von Wasserstoff Ionen
5. Zunahme von Wasserstoffionen
- 6a. pH-Wert sinkt ab, durch die Zunahme von Protonen
- 6b. Wasserstoffion und Karbonat wird zu Hydrogencarbonat
7. Mangel an Karbonat für die Bildung von Kalk

Aufgabe 2: Erkläre den Ablauf der Ozeanversauerung

! Beziehe dich auf die beiden Reaktionen, die zu der Versauerung führen, aber auch die Abnahme der Karbonationen.

AB2

In dem Infotext ist bereits beschrieben worden welche Auswirkungen die Verringerung des pH-Wertes auf die Meeresbewohner haben kann. Im folgenden wirst du ein Experiment durchführen, um die Aussage zu überprüfen.

Aufgabe 3: Bereitet das Experiment vor, in dem ihr die Materialien bereitlegt und die Versuchsdurchführung befolgt.

1. Nimmt Muscheln und legt sie in einen Behälter, welcher sich verschließen lässt.
2. Fülle den Behälter mit Essig auf, sodass die Muschel bedeckt wird.



3. Beobachte den Vorgang und protokolliere.

Aufgabe 3a:

Stelle eine Hypothese auf, was mit der Muschel passieren könnte.

Aufgabe 3b:

Überprüfe deine Hypothese, indem du nach dem Experiment die Muschel analysierst. Protokolliere das Ergebnis.

AB3

Die Meere werden sauer!



Name:

Datum:

Was steckt dahinter?

Muscheln bestehen vor allem aus Kalk. Säure sorgt dafür, dass sich Kalk auflöst. Dabei entsteht das Gas CO_2 . Das bedeutet also, dass Kalk im normalen Wasser stabil ist, durch eine saure Flüssigkeit, wie Essig jedoch beschädigt wird. Essigsäure hat einen pH-Wert von 3. Die Reaktion zwischen Calciumcarbonat (Kalk) und Essig führt zur Calciumacetat und Kohlensäure – also einer Auflösung des Kalks.

Aufgabe 4:

Werte mit Hilfe des Ergebnisses und des Infotexts den Versuch aus.
Was bedeutet eine Versauerung des Meeres für kalkbildende Meeresbewohner?

Aufgabe 5:

Ermittelt mögliche Lösungsansätze, um den Prozess der Versauerung zu stoppen.

Die Meere werden sauer!



Name:

Datum:

Was steckt dahinter?

Muscheln bestehen vor allem aus Kalk. Säure sorgt dafür, dass sich Kalk auflöst. Dabei entsteht das Gas CO₂. Das bedeutet also, dass Kalk im normalen Wasser stabil ist, durch eine saure Flüssigkeit, wie Essig gedoch beschädigt wird. Essigsäure hat einen pH-Wert von 3. Die Reaktion zwischen Calciumcarbonat (Kalk) und Essig führt zur Calciumacetat und Kohlensäure - also einer Auflösung des Kalks.

Aufgabe 4:

Werte mit Hilfe des Ergebnisses und des Infotexts den Versuch aus.
Was bedeutet eine Versauerung des Meeres für kalkbildende Meeresbewohner?

Aufgabe 5:

Ermittelt mögliche Lösungsansätze, um den Prozess der Versauerung zu stoppen.
