

Name:

Datum:

## Ozeanversauerung – Wirkung von Kohlenstoffdioxid auf Muscheln



### 1. Welchen Einfluss hat Säure auf die Schalen von Muscheln?

#### Geräte

Schnappdeckelglas, Pinzette, Lupe, Becherglas (100 mL weit), kleine Petrischale, Stoppuhr

#### Materialien

Muscheln, Kalkstein, Tropfflasche mit Salzsäure (10 %ig), dest. Wasser

#### Sicherheitshinweis

Falls du trotz aller Vorsicht Salzsäure auf die Hände bekommst, wasche sie mit viel Wasser sofort ab!

### Durchführung

#### A. Vorversuch: Untersuchung von Kalkstein

1. Lege den Kalkstein in die Petrischale und tropfe etwas 10 %ige Salzsäure darauf.
2. Beobachte, was geschieht!

#### B. Untersuchung einer Muschel

1. Nimm eine Muschel und schaue dir die Oberfläche der Muschel mit der Lupe genau an.
2. Lege die Muschel in das Schnappdeckelglas.
3. Fülle 10 %ige Salzsäure in das Schnappdeckelglas. Die Muschel soll gerade mit der Flüssigkeit bedeckt sein.
4. **Beobachte genau**, was in dem Gläschen mit der Muschel passiert.
5. Nach ca. 3 min kannst du die Muschel mit Hilfe der Pinzette entnehmen. Spüle sie vorsichtig über dem kleinen Becherglas mit dest. Wasser ab.
6. Nimm die Lupe und schaue dir die Oberfläche der Muschel erneut an!

**Was beobachtest du beim Kalkstein und was bei der Muschel? Kannst du Ähnlichkeiten feststellen?**

---

---

**Wie kannst du deine Beobachtung erklären? Überlege, aus welchem Material die Muschel besteht?**

---

---

**Überlege, welches Gas sich beim Auflösen der Muschel bildet? Woran erinnert dich das Sprudeln? Mit welchem dir bekannten Nachweis könntest du deine Vermutung überprüfen?**

---

---

---

Name:

Datum:

## 2. Welches Gas entsteht beim Einwirken von Säuren auf Kalk?

### Geräte

Erlenmeyerkolben (50 mL), Gärröhrchen mit durchbohrtem Gummistopfen, Kunststoffpipette, Abfallgefäß (250 mL) mit Sieb für Kalkwassergemisch

### Materialien

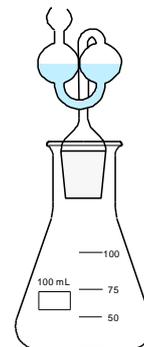
Muscheln, Kalkwasser (gesättigte  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – Lösung: 5 g/L, kräftig schütteln, Suspension 1 Tag stehen lassen, dann filtrieren), Tropfflasche mit Salzsäure (10 %ig)

### Sicherheitshinweis

Falls du trotz aller Vorsicht Salzsäure auf die Hände bekommst, wasche sie mit viel Wasser sofort ab!

### Durchführung

1. Gib eine Muschel in den Erlenmeyerkolben.
2. Bereite das Gärröhrchen vor, indem du es mit einer Pipette vorsichtig mit 1-2 mL Kalkwasser füllst, bis die kugeligen Erweiterungen des Glases bis etwa zur Hälfte gefüllt sind.
3. Gib nun ca. 20 Tropfen Salzsäure auf die Muschel und verschließe den Erlenmeyerkolben sofort mit dem vorbereiteten Gärröhrchen. Achte darauf, dass der Gummistopfen das Gefäß dicht verschließt. Drück aber nicht so stark, dass das Glas platzt (Verletzungsgefahr!).



### Was beobachtest du?

Hat sich deine Vermutung bestätigt? Welches Gas bildet sich beim Auflösen der Muschel mit Salzsäure?

Name:

Datum:

### 3. Welchen Einfluss hat Kohlenstoffdioxid auf die Schalen von Muscheln?

#### Geräte

Mörser mit Pistill, Becherglas (100 mL), Messzylinder (50 mL), Glasstab, 2 Reagenzgläser mit Stopfen, Reagenzglasständer, Soda-Club-Maschine, Kunststoffpipette, schwarze Pappe, Stoppuhr

#### Materialien

Muscheln, Leitungswasser

#### Durchführung

1. Lege eine kleine Muschel in den Mörser und zermahle sie mit dem Pistill zu feinem Muschelpulver.
2. Schütte das gesamte Muschelpulver aus dem Mörser in das kleine Becherglas.
3. Fülle nun mittels eines Messzylinders 50 mL Leitungswasser hinzu.
4. Rühre die Suspension aus Muschelpulver und Wasser mittels eines Glasstabes gut um.
5. Gib nun mit Hilfe der Pipette ca. 2 mL des Muschelwassers in ein Reagenzglas.
6. Leite mit Hilfe des Schlauches der Soda-Club-Maschine 5 Sekunden lang Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) in das Reagenzglas (langsam bis 5 zählen).
7. Verschließe das Reagenzglas sofort mit einem Stopfen und schüttele es kräftig.
8. Gib in ein zweites Reagenzglas ebenfalls ca. 2 mL des Muschelwassers (es dient als Vergleich). Verschließe es mit dem Stopfen und schüttele kräftig.
9. **Warte etwa 3 bis 4 min und beobachte genau, was geschieht!** Damit du die Veränderung besser siehst, kannst du die Reagenzgläser vor eine schwarze Pappe halten.

#### Was kannst du beobachten?

---

---

#### Wie kannst du deine Beobachtung erklären? Was bedeutet das für die kalkbildenden Organismen in den Ozeanen?

---

---

## Information zu den Versuchen: Ozeanversauerung - Wirkung von Kohlenstoffdioxid auf Muscheln:

1. Welchen Einfluss hat Säure auf die Schalen von Muscheln?
2. Welches Gas entsteht beim Einwirken von Säuren auf Kalk?
3. Welchen Einfluss hat Kohlenstoffdioxid auf die Schalen von Muscheln?

Diese 3 Versuche gehören zu einer Versuchsreihe, die sich mit dem Thema Ozeanversauerung beschäftigen. Hier können Schülerinnen und Schüler erforschen, welche Folgen die sogenannte „Ozeanversauerung“ auf die darin lebenden Organismen haben, insbesondere die Organismen, die ihre Schalen und Skelette aus Kalk aufbauen, wie z. B. Muscheln, Schnecken, Seesterne, Seeigel und Korallen.

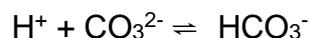
### Hintergrund

Der Begriff Ozeanversauerung umschreibt eine Absenkung des pH-Wertes im Meer als Folge der erhöhten Aufnahme von Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus der Atmosphäre. Der Prozess zählt neben der globalen Erwärmung zu den Hauptfolgen der zunehmenden menschlichen Emissionen des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid. Während Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre physikalisch zu steigenden Temperaturen auf der Erde führt, wirkt es im Meerwasser chemisch, indem aus Kohlenstoffdioxid und Wasser „Kohlensäure“ gebildet wird.

Dabei sind zwei chemische Reaktionen für die Ozeanversauerung besonders wichtig: Löst sich Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) im Meerwasser, wird „Kohlensäure“ ( $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ) freigesetzt, diese dissoziiert weiter in Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ) und Hydrogencarbonat-Ionen ( $\text{HCO}_3^-$ ).



Durch den Anstieg der Wasserstoffionenkonzentration sinkt der pH-Wert im Meerwasser. Ein Teil der Wasserstoff-Ionen ( $\text{H}^+$ ) reagiert weiter mit Carbonat-Ionen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) aus dem Meerwasser zu Hydrogencarbonat

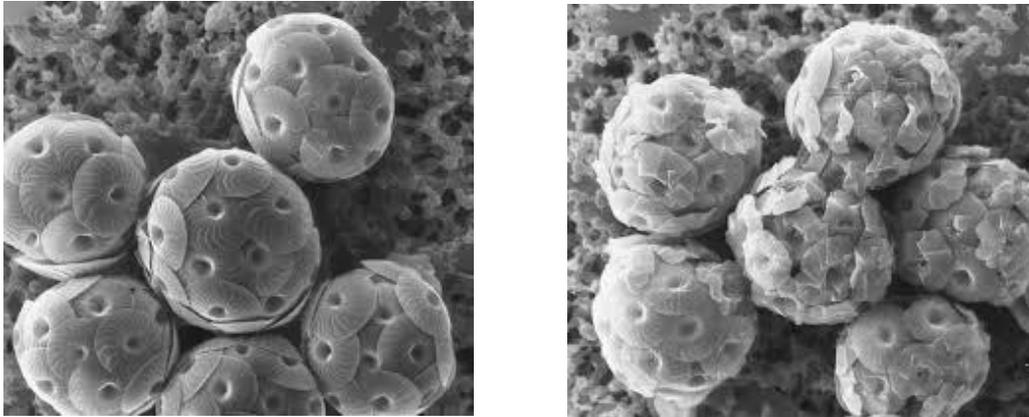


Die Carbonat-/Hydrogencarbonat-Ionen wirken hier als Puffer und fangen die überschüssigen Wasserstoffionen ab. Das Meerwasser wird also nicht sauer wie „Sprudelwasser“. Es ist mit seinem aktuellen pH-Wert um 8 leicht basisch.<sup>1</sup> Die „Versauerung“ bewirkt hier aufgrund der puffernden Wirkung der gelösten Salze, dass das Meerwasser nicht sauer ( $\text{pH} < 7$ ), sondern zunächst nur weniger basisch wird.

\* Anmerkung: Aus didaktischen Gründen wird hier die vereinfachte Schreibweise  $\text{H}_2\text{CO}_3$  benutzt, obwohl sie nur in sehr sehr geringer Konzentration vorkommt. Bisher war man davon ausgegangen, dass Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) als stabiles Molekül überhaupt nicht existiert, da sie sofort in Wasser und Kohlendioxid zerfällt. Doch einem österreichischen Forscherteam ist es inzwischen gelungen, gasförmige Kohlensäure zu detektieren - allerdings nur als Spurenkomponente.<sup>2</sup>

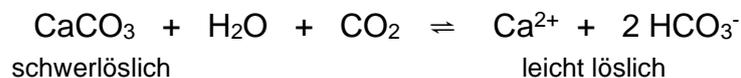
Die zunehmende Versauerung führt aber gleichzeitig dazu, dass die Konzentration der Carbonat-Ionen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) sinkt, weil sich ein Teil im Wasser mit den Wasserstoff-Ionen ( $\text{H}^+$ ) verbindet, d. h. die Zunahme von  $\text{H}^+$ -Ionen „verbraucht“ Carbonat-Ionen. Doch genau diese Carbonat-Ionen benötigen kalkbildende Meeresorganismen wie Muscheln,

Korallen oder bestimmte Planktonarten, um ihre Schalen und Skelette, bestehend aus Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), aufzubauen. Wenn den Organismen dieser Baustoff fehlt, wird ihre Wachstums- und Fortpflanzungsfähigkeit stark beeinträchtigt und ihre Kalkschalen werden dünner und ihre Kalkskelette zerbrechlicher (siehe Abb.2).



**Abbildung 2:** Die Coccolithophoride *Calcidiscus* heute (linkes Bild) und unter Lebensbedingungen, die für das Jahr 2100 angenommen werden (rechtes Bild). Diese Mikroskopaufnahme zeigt deutlich, wie die Kalkschale der Alge unter der Ozeanversauerung leidet. Mit freundlicher Erlaubnis von Prof. Ulf Riebesell, GEOMAR, Kiel<sup>3</sup>

Die Ozeanversauerung beeinflusst nicht nur die Kalkbildung, sie verstärkt auch den Prozess der Kalklösung. Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) ist in reinem Wasser nahezu unlöslich, es löst sich aber zunehmend in kohlensäurehaltigem Wasser. Bei dieser Reaktion bildet sich lösliches Calciumhydrogencarbonat.



Aus der Reaktionsgleichung geht hervor, dass durch die Konzentration von Kohlenstoffdioxid die Gleichgewichtslage beeinflusst wird. Durch den vermehrten Eintrag von Kohlenstoffdioxid wird das Gleichgewicht zunehmend auf die Seite des Calciumhydrogencarbonats ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) verschoben, d. h. der Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) beginnt sich zu lösen. Wird dem Meerwasser Kohlenstoffdioxid entzogen, z. B. durch Temperaturerhöhung liegt das Gleichgewicht auf der Seite des Calciumcarbonats und es bildet sich unlöslicher Kalk. Kommt es weder zur Auflösung noch zur Abscheidung von Calciumcarbonat (Kalk), dann liegt eine Sättigung des Wassers mit Calciumcarbonat vor, das Gleichgewicht ist hergestellt.

Meeresorganismen können ihre Calciumcarbonat-Strukturen besser aufbauen, wenn ausreichend Carbonat-Ionen im Wasser verfügbar sind – es übersättigt ist. Ungeschützte Schalen und Skelette können sich auflösen, wenn besonders wenige Carbonat-Ionen im Wasser vorhanden sind – es untersättigt ist.

Wie viel zusätzliche Energie die Meeresorganismen in den Aufbau ihrer Kalkschalen investieren müssen, hängt auch davon ab, welche Form des Calciumcarbonats sie produzieren- das leichter lösliche Aragonit oder das etwas beständigere Calcit. Deshalb sind die Korallen, dessen Kalkskelett aus Aragonit besteht, besonders anfällig gegenüber einer Versauerung der Ozeane.

Da die Löslichkeit des Calciumcarbonats (Kalk) proportional zur Menge des gelösten Kohlendioxids ist, wird sie von den gleichen Faktoren bestimmt, die auch die Konzentration des Kohlendioxids (gemessen als Partialdruck) bestimmt. Die Löslichkeit von Kohlendioxid steigt mit zunehmendem Druck und sinkender Temperatur. Das kalte Ozeanwasser aus den tieferen Schichten ist natürlicherweise mit Carbonat-Ionen untersättigt, weil in zunehmender Tiefe, bedingt durch den hohen Druck und die niedrigeren Temperaturen, mehr  $\text{CO}_2$  im Meerwasser gelöst ist. Das führt dazu, dass sich Calciumcarbonat (Kalk) hier auflöst. Dagegen sind flache, warme Oberflächenwasser normalerweise mit Carbonat-Ionen übersättigt. Das bedeutet, es wird die Bildung von Kalkschalen und -skeletten begünstigt.

In jeder Meeresgegend gibt es somit eine bestimmte Tiefe, bis zu der sich Kalk bilden kann, darunter löst er sich auf. Diese Grenze wird als Carbonat-Kompensationstiefe bezeichnet. Durch den Eintrag von Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre hat sich dieser sogenannte Sättigungshorizont von Aragonit und Calcit seit dem 19. Jahrhundert um 50 bis 200 Meter nach oben verlagert.<sup>4</sup> So werden sich immer mehr kalkbildende Organismen in der untersättigten Schicht wiederfinden, in der ihre Schalen gefährdet sind. Der Lebensraum der kalkbildenden Meeresorganismen wird in Zukunft immer kleiner werden.

### Erklärung zum Versuch 1: Welchen Einfluss hat Säure auf die Schalen von Muscheln?

In diesem Versuch beobachten die Schülerinnen und Schüler, welche Auswirkungen die Gegenwart von Säure auf Meeresorganismen hat, die ihre Schalen oder Skelette aus Calciumcarbonat aufbauen. Dazu werden Kalksteine und die Schalen von kleinen Muscheln mit verdünnter Salzsäure versetzt. Nach einer kurzen Einwirkzeit werden die Muscheln unter der Lupe betrachtet.

### Beobachtung

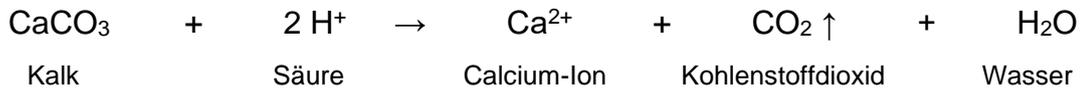
Sowohl an der Oberfläche des Kalksteins als auch an der Oberfläche der Muschel steigen kontinuierlich kleine Gasbläschen auf. Die Flüssigkeit im Schnappdeckelglas beginnt kräftig zu sprudeln. Mit bloßem Auge erkennt man, dass die Oberfläche der Muschelschale dünner und teilweise porös und löcherig geworden ist.



**Abbildung 3:** Muschel vor und nach Zugabe von 10 %iger Salzsäure nach einem Zeitraum von 3 min.

## Deutung

Im Vorversuch wird anhand eines Kalksteins (Calciumcarbonat) ein Nachweis für Carbonate durchgeführt. Mit Salzsäure reagiert das Calciumcarbonat zu Wasser und Kohlenstoffdioxid, das sprudelnd entweicht. Das Sprudeln kennen die Schülerinnen und Schüler bereits aus ihrem Alltag: Öffnet man eine Mineralwasserflasche, so entweicht Kohlenstoffdioxid in Form von kleinen Bläschen.



Versetzt man Muscheln mit Salzsäure, laufen die gleichen Prozesse ab. Muscheln lösen sich unter Kohlenstoffdioxidbildung nach obiger Reaktionsgleichung auf. Aus ihrem Alltag wissen die Schülerinnen und Schüler vielleicht, dass man weiße Kalkablagerungen auf Gläsern oder in Wasserkochern mit Essigsäure entfernen kann. Aufgrund ihrer Kenntnisse können sie aus den Beobachtungen schlussfolgern, dass das Baumaterial von Muscheln vermutlich Kalk enthält. Ob es sich bei den aufsteigenden Gasbläschen um Kohlenstoffdioxid handelt, können sie mit Versuch 2 überprüfen.

Die Schülerinnen und Schüler sehen hier, welche Auswirkungen Säure innerhalb kürzester Zeit auf Muschelkalk haben kann und bekommen eine Vorstellung davon, wie sehr die Kalkschalen der Meeresorganismen unter der Versauerung leiden. Um Fehlinterpretationen vorzubeugen, sollte der Hinweis gegeben werden, dass das Meerwasser nicht so sauer wird wie Salzsäure.

Anmerkung: Mit normalem Haushaltsessig (5 %ig) werden die Kalkschalen der Muscheln im Beobachtungszeitraum nicht merklich angegriffen. Statt Salzsäure kann man hier auch Essigessenz (25 %ig) verwenden. Bis die Muscheln beginnen, sich aufzulösen, dauert es aber ca. 1 Stunde. Die stärkere Säure wird gewählt, um das Phänomen so stark zu beschleunigen und zu verstärken, dass es in angemessener Zeit gut beobachtbar ist. Man kann aber die Schülerinnen und Schüler anregen, Muscheln zuhause über längere Zeit in einem verschlossenen Glas in Essig oder Essigessenz zu lagern.

## Erklärung zum Versuch 2: Welches Gas entsteht beim Einwirken von Säuren auf Kalk?

Im Vorversuch "CO<sub>2</sub> und Kalkwasser" haben die Schülerinnen und Schüler bereits das Prinzip des CO<sub>2</sub>-Nachweises mit Kalkwasser kennengelernt. Dieser Versuch dient dazu, ihre Hypothese, ob es sich bei der Gasentwicklung aus Versuch 1 um CO<sub>2</sub> handelt, zu überprüfen. Dazu wird nach Beträufeln einer Muschel mit Salzsäure das entstandene Gas mittels eines Gärröhrchens in Kalkwasser (gesättigte Ca(OH)<sub>2</sub>-Lösung) eingeleitet.

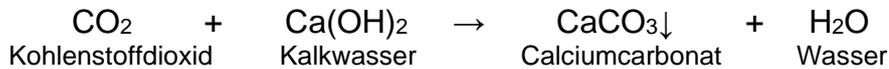
## Beobachtung

Die Muschel löst sich unter starker Gasentwicklung auf. Das entstandene Gas perlt durch das Kalkwasser (gesättigte Ca(OH)<sub>2</sub>-Lösung) im Gärröhrchen und erzeugt dort nach kurzer Zeit eine weiße Trübung.

## Deutung

Als „Kalkwasser“ wird eine gesättigte, klare Calciumhydroxid-Lösung bezeichnet, die alkalisch reagiert. Frisch angesetzt dient sie als Nachweismittel für Kohlenstoffdioxid. Calciumcarbonat (Muschelkalk = CaCO<sub>3</sub>) geht mit Salzsäure unter Freisetzung von

Kohlenstoffdioxid in Lösung. Das aus dem Kohlenstoffdioxid gebildete Calciumcarbonat fällt im Kalkwasser als weißer wasserunlöslicher Niederschlag aus.



Anmerkung: Beim längeren Durchleiten von Kohlenstoffdioxid durch Kalkwasser verschwindet die Trübung wieder. Dies hängt damit zusammen, dass das überschüssige Kohlenstoffdioxid mit dem Calciumcarbonat wieder zu löslichem Calciumhydrogencarbonat reagiert (s.o.)

Die Schülerinnen und Schüler lernen hier, dass der Muschelkalk in Form von Calciumcarbonat eine Speicherform für gebundenes CO<sub>2</sub>-Gas darstellt und dass das gebundene CO<sub>2</sub> wieder durch Säure aus der Speicherform freigesetzt werden kann. Die Gasentwicklung ist demnach ein Nachweis für CO<sub>2</sub>. Kommt dieses CO<sub>2</sub> als Gas an einer anderen Stelle wieder mit Calcium-Ionen in Kontakt, so wird es wieder in seiner Ausgangsform als Calciumcarbonat gebunden. Es schließt sich ein kleiner CO<sub>2</sub>-Kreislauf.

### Erklärung zum Versuch 3: Welchen Einfluss hat Kohlenstoffdioxid auf die Schalen von Muscheln?

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen in diesem Versuch, welche Auswirkungen das CO<sub>2</sub> auf Muschelkalk hat.

Dazu leiten sie in eine selbst hergestellte Muschelschalen-Suspension CO<sub>2</sub> aus einem Soda-Sprudler ein und notieren ihre Beobachtungen. Als Vergleich dient eine Muschelschalen-Suspension ohne CO<sub>2</sub>-Einleitung.

### Beobachtung

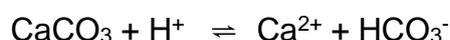
Beide Suspensionen sind zunächst weiß und trüb. Beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid verschwindet die weiße Trübung langsam und die Lösung wird klar, während die Vergleichssuspension trüb bleibt.

### Deutung

Das Calciumcarbonat (CaCO<sub>3</sub>) der Muschelschalen ist schwer in Wasser löslich, was sich an der weißen Trübung erkennen lässt. Durch das Einleiten von Kohlenstoffdioxid sinkt der pH-Wert. Es entsteht „Kohlensäure“, die weiter in Wasserstoff-Ionen (H<sup>+</sup>) und Hydrogencarbonat-Ionen (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) zerfällt.



Die Lösung wird klar, weil die Wasserstoffionen der „Kohlensäure“ mit dem Calciumcarbonat zu wasserlöslichem Calciumhydrogencarbonat reagiert.



Im durch CO<sub>2</sub> angesäuerten Milieu verschiebt sich das **Gleichgewicht** vom schwerlöslichen Carbonat zum leichtlöslichen Hydrogencarbonat. Die Existenz von Calciumcarbonat wird also immer mehr erschwert, je saurer das Wasser ist, was wiederum durch die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre beeinflusst wird.

Dieser Umwandlungsprozess von Calciumcarbonat (Kalk) zu Calciumhydrogencarbonat ist auch ein Grund für die "Verwitterung" von Denkmälern aus Kalkstein oder Marmor.

Die Schülerinnen und Schüler lernen hier, dass mit zunehmender Versauerung weniger Carbonat-Ionen verfügbar sind und so der Kalkbildungsprozess der Meeresorganismen eingeschränkt oder sogar verhindert wird. Als Folge werden die Schalen der kalkbildenden Meeresorganismen dünner oder lösen sich sogar auf und bieten somit weniger Schutz vor Fressfeinden.

### Quellen

1. [https://de.wikipedia.org/wiki/Versauerung\\_der\\_Meere](https://de.wikipedia.org/wiki/Versauerung_der_Meere) (Zugriff am 26.06.2020)
2. „Der Kohlensäure auf der Spur“. CHEMKON 2011, 18, 92
3. [Das andere CO<sub>2</sub>-Problem. Ozeanversauerung-Acht Experimente für Schüler und Lehrer. Hrsg.: BIOACID / Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel \(GEOMAR\), 2. Aufl. 2012, S.4-5](#)  
[https://www.oceanacidification.de/wpcontent/uploads/2017/04BIOACID\\_Experimente\\_de.pdf](https://www.oceanacidification.de/wpcontent/uploads/2017/04BIOACID_Experimente_de.pdf) (Zugriff am 08.07.2020). Bildrechte Prof. Ulf Riebesell
4. <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Ozeanversauerung> BIOACID (Zugriff am 08.07.2020)