

Kalkbildende Lebewesen bekommen Probleme

Eine Folge der Ozeanversauerung



LNCU.de
ID 35578
CC-BY-SA 4.0
Online abrufen

M1 Fallakte Ozeanversauerung



Jedes Team erhält seine eigene, persönliche **Fallakte**. Zudem sammeln wir alle Ergebnisse an einem gemeinsamen Bord – in digitaler oder analoger Form.



Lasst uns den Fall Schritt für Schritt gemeinsam aufklären. Zwischendurch präsentieren und diskutieren wir immer im Plenum uns Zwischenergebnisse.



Abb. 1: Das klären wir Schritt für Schritt.

Schritt 1: Tatort erschließen, Hypothese formulieren

- 1 Betrachten Sie gemeinsam im Team die **Fallakte**. Beschreiben Sie was Sie sehen bzw. zu erkennen glauben.
- 2 Nutzen Sie **M2** und ergänzen Sie erste **Notizen** auf dem Whiteboard zu **Tatort, Opfer & Verdächtigem**.
- 3 Formulieren und notieren Sie auf Basis ihres Vorwissens eine **experimentell prüfbare Vermutung** zum **Tathergang**. Nutzen Sie folgende Struktur: „Wir vermuten, dass CO_2 im Meerwasser führt dazu, dass ... weil wir bereits wissen, dass ...“.

M2 "Tatort, Opfer und Verdächtiger"

Ein "Freilandlabor" vor Italiens Küste

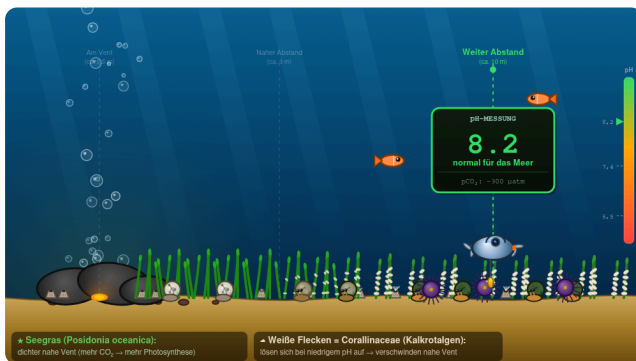
Vor der Insel Ischia treten sogenannte **CO₂-Vents** auf. Dort gelangt Kohlendioxid aus vulkanisch aktiven Gesteinsschichten durch Spalten im Meeresboden ins Wasser. Dadurch sinkt der pH-Wert. In der Nähe der Vents ist dieser Effekt besonders stark, weiter entfernt nimmt er ab.

Dies macht den **Ort spannend für Forschung**: Ohne Labor kann man hier beobachten, wie unterschiedliche CO₂-Konzentrationen Ökosysteme beeinflussen. ^{3 4}



Abb. 2: Natürliche CO₂-Quellen vor Ischia (nicht maßstabsgetreu) erzeugen einen pH-Gradienten im Meer und verändern das Ökosystem. ⁵

So sähe es laut der Studien aus, wenn ein Tauchroboter pH-Proben nähme



Am Vent

Mittlerer Abstand

Normales Wasser

Was geschieht in diesem Freilandlabor?

Ein Team von Prof. Jason Hall-Spencer untersuchte im Jahr 2008 vor Ort **Schneckenpopulationen**. ^{6 7}

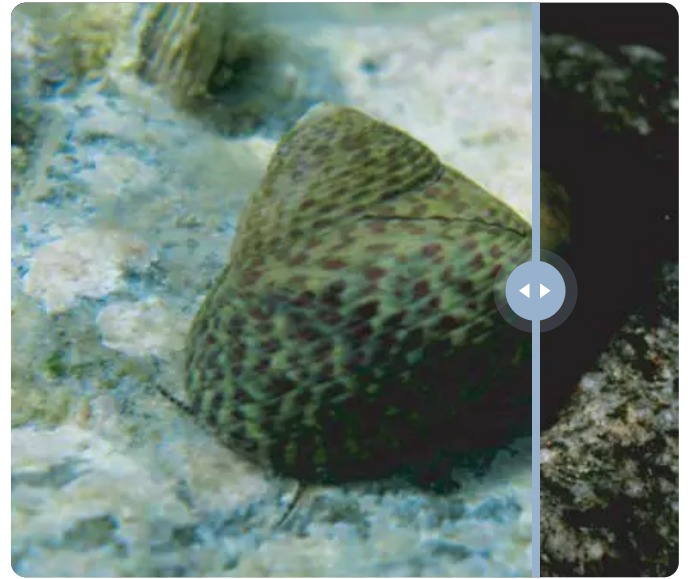


Abb. 3: Kalkhaltigen Organismen in natürlich versauertem Meerwasser. ⁸

Zwei Befunde des Teams:

- Muscheln oder Korallen sind in der Nähe der CO₂-Vents weniger verbreitet, während sich andere Arten wie Algen oder Seegras stärker ausbreiten.
- Gehäuse von Schnecken, die nahe der CO₂-Vents leben, sind beschädigt. Vor allem ältere Schneckengehäuse zeigten deutliche Vertiefungen.

Ausgedacht oder real?

Im Chemieunterricht konstruieren Lehrkräfte oft Fälle, um etwas zu veranschaulichen. Was ist mit diesem hier? Schau auf die **Fußnoten** ⁹ oben: Gute Quellenarbeit setzt Verweise. Prüfe, wohin sie führen – und entscheide selbst: erfunden oder echt?

Schritt 2: Experiment als Spurensicherung, den Befund sichern

Ihre Vermutung steht auf dem Whiteboard. Jetzt holen Sie sich den Beweis.

- 4 Lesen Sie die Durchführung von V1 und hier vor allem das Versuchsdesign.
- 5 Führen Sie V1 durch. Fotografieren, sichern und beschreiben Sie Ihre Beobachtungen. Werten Sie die Beobachtungen aus.
- 6 Formulieren Sie anschließend gemeinsam einen Befundsatz und schreiben Sie ihn als Beweisstück auf das Whiteboard:
„Wir haben beobachtet, dass ... Das bedeutet für Ischia: ... unsere Vermutung wird dadurch bestätigt / widerlegt / muss präzisiert werden, weil ...“

V1 Wir prüfen experimentell unsere Vermutung im Modellversuch



Versuchsdesign

Streng genommen sind es zwei Versuche:

1. Da wir für die Untersuchung nur wenig Zeit haben, nutzen wir sehr **fein verteilten Kalk**. Die feine Verteilung erreichen wir, in dem wir den Kalk ganz frisch herstellen. Dazu geben wir **Kohlenstoffdioxid in Calciumhydroxid-Lösung**. Sie kennen dies bereits als Kalkwasserprobe.
2. **Zu dem fein verteilten Kalk** geben wir dann immer mehr **Kohlenstoffdioxid**.

Um den pH-Wert verfolgen zu können, geben wir von Beginn an **Universalindikator** hinzu.

Aufbau und Durchführung

- Die Calciumhydroxid-Lösung wird mit wenigen Tropfen Universalindikator eingefärbt.
- 5 mL dieser Lösung werden in eine 30 mL Spritze aufgesaugt.
- Eine 12 mL Spritze wird mit Kohlenstoffdioxid gefüllt und über den Dreiwegehahn mit der großen Spritze verbunden.
- Kohlenstoffdioxid wird in 2 mL Schritten zur Lösung hinzugefügt. Der Hahn wird nach jeder Zugabe geschlossen, das System vorsichtig geschüttelt und beobachtet.



Abb. 4: Aufbau zu Beginn ¹⁰

Materialien

- Schutzbrille
- Spritze 12 mL
- Spritze 30 mL
- Dreiwegehahn

Chemikalien

- Calciumhydroxid-Lösung
sog. Kalkwasser
- Kohlenstoffdioxid
- Universalindikator-Lösung pH 1 - 13

UNISOL 113 – Farbskala pH 6–12



Entsorgen und Aufräumen

- Alle verunreinigten **Labormaterialien** spülen.
- Alle Materialien an ihren **Ursprungsort** zurückstellen.



Schritt 3 – Den Tathergang chemisch erläutern

- 7 Ihre Spurensicherung hat gezeigt, dass die Zugabe von CO_2 etwas verändert. Jetzt müssen Sie dies **erläutern**. Arbeiten Sie sich durch die drei Reiter von **M2**.
- a Reiter „Kalk“:** Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Calciumcarbonat und Calciumhydrogencarbonat hinsichtlich ihrer Löslichkeit. Notieren Sie die Reaktionsgleichung zum Gleichgewicht zwischen beiden Stoffen. Wenden Sie darauf das Prinzip von Le Chatelier an: Was passiert mit diesem Gleichgewicht, wenn die CO_2 -Konzentration im Meerwasser steigt?
- b Reiter „Kohlenstoffdioxid – Hydrogencarbonat – Carbonat“** Erklären Sie sich gegenseitig, wie aus gelöstem CO_2 schrittweise Hydrogencarbonat-Ionen und Carbonat-Ionen entstehen. Diskutieren Sie, warum wir in Unkenntnis der Gleichgewichtskonstanten nichts über das Verhältnis von Carbonat zu Hydrogencarbonat sagen können.
- c Reiter „Verhältnis der Konzentration nach pH-Wert“**
Lesen Sie das Diagramm aus. Erklären Sie sich die Kurvenverläufe mit Hilfe der Reaktionsgleichungen im 2. Reiter und Le Chatelier. Leiten Sie ab: Was bedeutet ein sinkender pH-Wert für die Verfügbarkeit von Carbonat-Ionen – und damit für kalkbildende Lebewesen? Was passiert mit Calciumcarbonat in einer Lösung mit sinkendem pH-Wert?
- 8 **Tathergang formulieren:** Fassen Sie die Erkenntnisse aus den Aufgaben 1–3 zusammen. Erläutern Sie den Tathergang in einer zusammenhängenden Argumentation: Warum führt steigendes CO_2 dazu, dass kalkbildenden Lebewesen die Grundlage für den Aufbau ihrer Schalen entzogen wird oder bestehende Schalen zerstört werden? Nutzen Sie Reaktionsgleichungen und das Prinzip von Le Chatelier. Tragen Sie den Tathergang als Beweisstück auf Ihr Whiteboard ein und stellen Sie Ihren Tathergang anschließend im Plenum vor.

M3 Das Carbonat-Hydrogencarbonat-Gleichgewicht

Kalk

Muschelgehäuse und Korallenskelette bestehen aus Kalk (Calciumcarbonat, Formel: CaCO_3).

Calciumcarbonat ist sehr **schlecht wasserlöslich**. Auch unter Wasser liegt es überwiegend als Feststoff in der kristallinen Form vor.

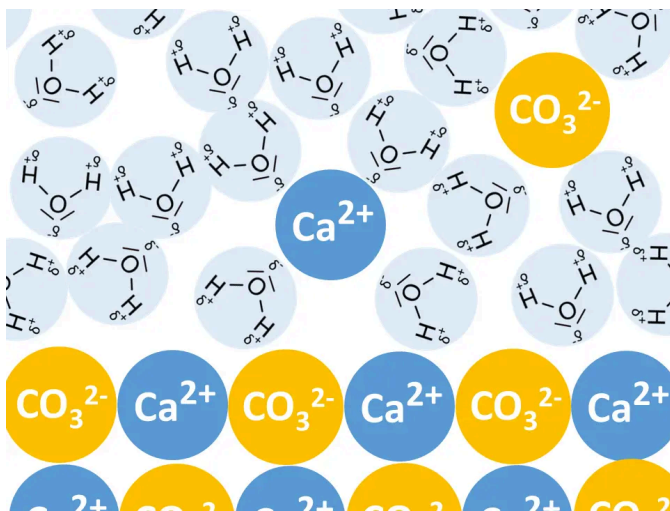
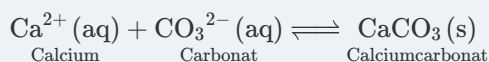


Abb. 5: Schematische Darstellung von Kalk unter Wasser ¹¹

1 Kalkbildung aus den Ionen



Calciumhydrogencarbonat ist so **gut wasserlöslich**, dass es nur in **gelöster Form** vorliegt.

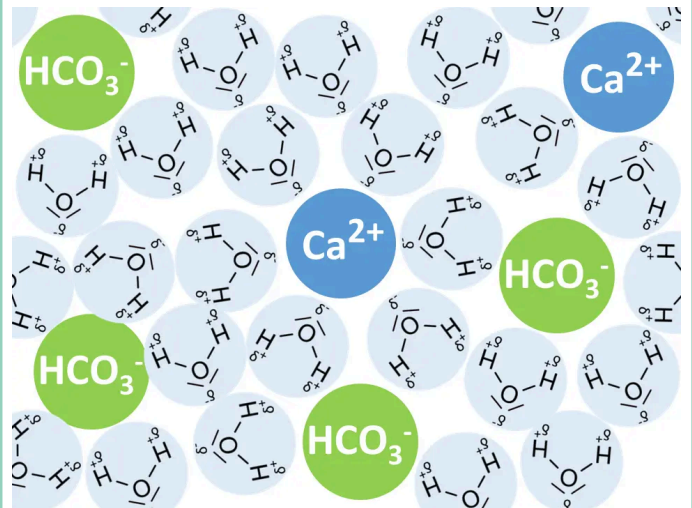
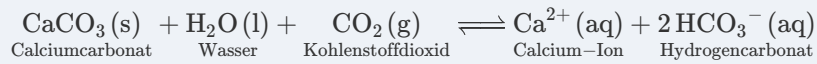


Abb. 6: Schematische Darstellung der Lösung ¹¹

Calciumhydrogencarbonat und Calciumcarbonat stehen in einem Gleichgewicht miteinander. **Vereinfacht können wir sagen:**

2

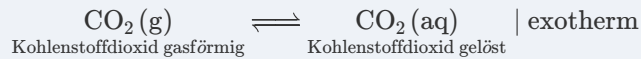


Ob nun also vermehrt Calciumhydrogencarbonat oder Calciumcarbonat vorliegen, hängt davon ab, ob die Lösung reich an Carbonat-Ionen ist oder an Hydrogencarbonat-Ionen. Und das hängt wiederum von der Kohlenstoffdioxidkonzentration ab.

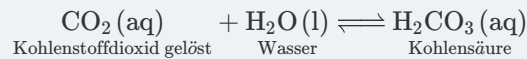
Kohlenstoffdioxid - Hydrogencarbonat - Carbonat

Schauen wir uns die bereits bekannten Gleichgewichte rund um das Kohlenstoffdioxid noch einmal genauer an. Sie zeigen, wie die Ionen entstehen:

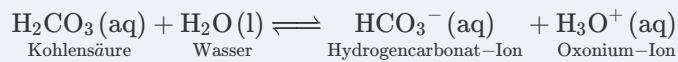
3 gasförmiges Kohlenstoffdioxid löst sich in Wasser



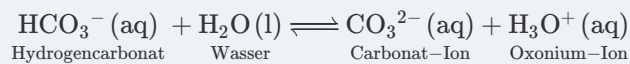
4 Bildung von Kohlensäure



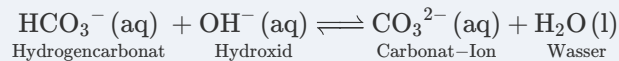
5 Protolyse von Kohlensäure



6 Protolyse von Hydrogencarbonat



7 Im Alkalischen Milieu: Bildung von Carbonat



Verhältnis der Konzentration nach pH-Wert

Überlegen wir zuerst einmal, was passiert, wenn die Lösung stark alkalisch ist und dann der pH-Wert immer kleiner wird.

Schauen wir uns dann folgendes Diagramm an. Es zeigt exakt, wieviel Kohlenstoffdioxid, Hydrogencarbonat oder Carbonat bei welchem pH-Wert vorliegen:

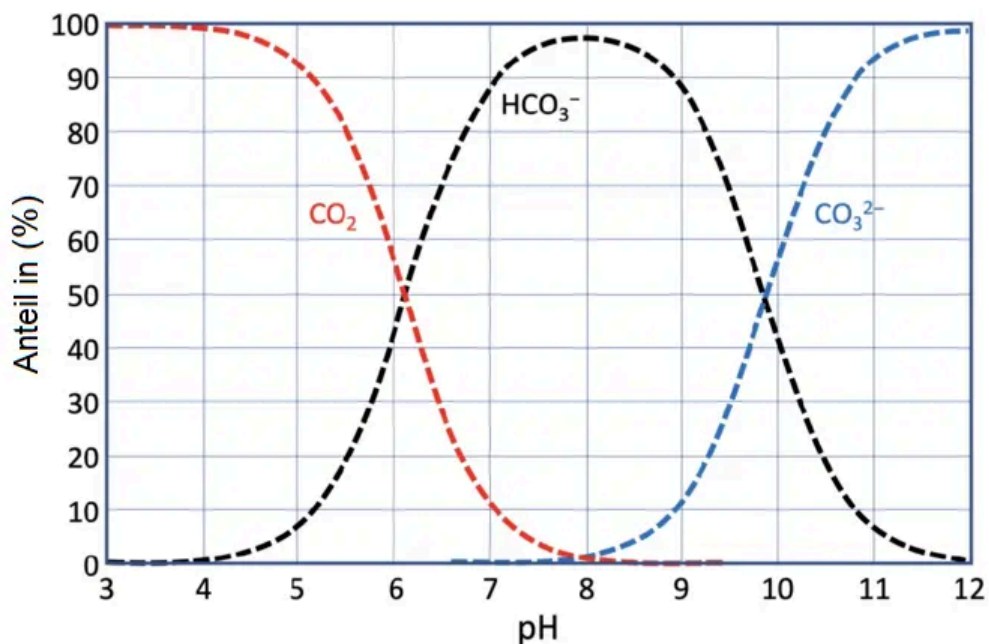


Abb. 7: Der Anteil an Kohlenstoffdioxid-Hydrogencarbonat-Carbonat im Meerwasser in Abhängigkeit vom pH-Wert. 12



Schritt 4 – Vom Tatort zur globalen Dimension

Ischia als Untersuchungsort war kein Zufall. Die Forschenden haben diesen Ort bewusst gewählt – weil der natürliche pH-Gradient dort abbildet, was sich global ankündigt.

- 9 Lesen Sie **M4** und werten Sie das Diagramm zur Entwicklung des globalen pH-Werts aus. Beschreiben Sie, wie sich der pH-Wert der Meere seit 1850 verändert hat und welche Entwicklung die drei Szenarien bis 2100 projizieren.
- 10 Erläutern Sie die Aussage: „Kalkbildende Lebewesen bekommen selbst im günstigsten Szenario Probleme“.
- 11 Nehmen Sie Stellung: Stellt die Ozeanversauerung aus ihrer Sicht einen problematischen menschlichen Eingriff in Stoffkreisläufe dar? Begründen Sie ihre Aussage und tragen Sie sie in die gemeinsame Planetare-Grenzen-Übersicht ein.

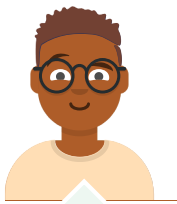
M4 Ergebnisse der Messungen und Prognosen weltweit

Beobachtungsergebnisse von Hall-Spencer

Allgemein konnten Hall-Spencer und sein Team beobachten, dass kalkbildende Organismen wie Schnecken, aber auch Seeigel und Korallen in derartigen Gebieten kaum existieren.

- Durch die Schwächung der Kalkgehäuse werden Schnecken anfälliger für Raubfeinde.
- Junge Schnecken entwickeln sich kaum in Regionen mit pH-Werten von $\text{pH} \leq 7,4$.

Die Forschungsergebnisse betonen, dass eine langfristige Absenkung des pH-Werts durch die heutige CO_2 -Erhöhung **ähnliche Effekte global** hervorruft. Zusammen mit der zunehmenden Erwärmung sind z. B. Korallen damit auf zwei Wegen gleichzeitig gefährdet.



Warum diese Ergebnisse wichtig sind: **Schnecken** sind primäre Nahrung für viele Meeresbewohner. Ihr Verlust stört die Nahrungskette. Der Verlust von **Korallenriffen** mit ihrer hohen Artenvielfalt ist eine noch gravierendere Folge der Ozeanversauerung!

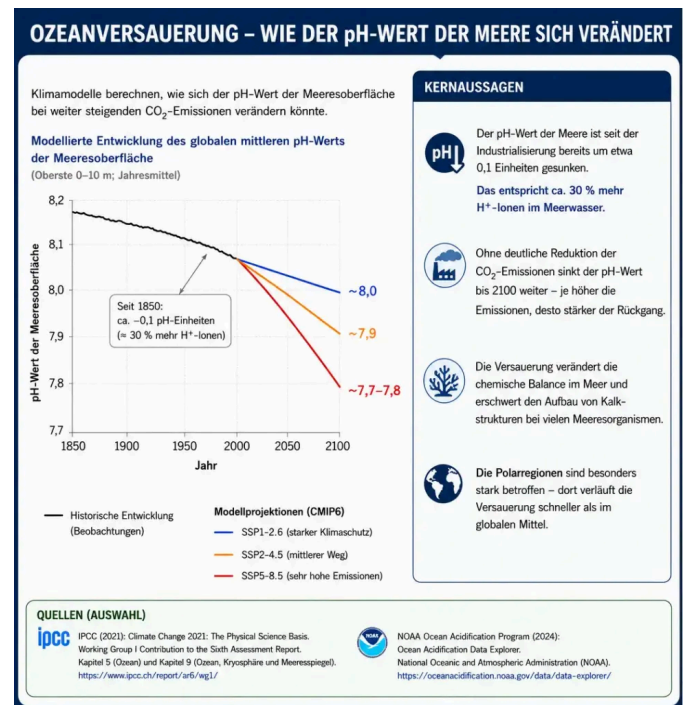


Abb. 8: Vereinfachte schematische Darstellung auf Grundlage publizierter Beobachtungs- und Modellierungsdaten. ¹³

Entwicklungen Stand 2026

Die Abbildung oben nutzt das ältere Set SSP1-2.6 / SSP2-4.5 / SSP5-8.5. Die **gute Nachricht**: Nach dem Szenariensatz für CMIP7 (April 2026) gelten die beiden hohen Pfade SSP5-8.5 und SSP3-7.0 nicht mehr als plausible obere Standardpfade für das 21. Jahrhundert. Der Grund ist erfreulich – Erneuerbare Energien sind stark verbilligt, Klimapolitik greift, und die realen Emissionstrends tragen diese Extrempfade nicht mehr. ¹⁴

Die schlechte Nachricht: Das ist keine Entwarnung. Das neue obere Szenario liegt weiterhin bei rund $+3,5\text{ °C}$ (Unsicherheit über $+4\text{ °C}$), bei aktueller Politik steuert die Welt auf etwa $+2,6$ bis $+2,8\text{ °C}$ zu, und eine dauerhafte Begrenzung unter $+1,5\text{ °C}$ gilt nicht mehr als erreichbar – nur noch über einen zeitweisen Overshoot (vorübergehendes Überschreiten mit späterer Rückkehr). Die Versauerung der antarktischen Schutzgebiete bleibt eine ernste Bedrohung, und die hier gezeigte Studie behält ihre Aussagekraft.



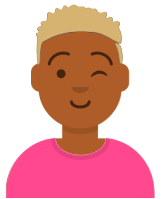


Warum wir die alte Szenarien-Einteilung hier trotzdem stehen lassen: Man soll an dieser Stelle verstehen, dass die Wissenschaft ihre Szenarien laufend an neue Daten anpasst – und dass das kein Eingeständnis eines Fehlers ist, sondern normale Praxis. „Unplausibel geworden“ heißt nicht „falsch“ oder „widerlegt“: Eine Studie wie die hier gezeigte bleibt gültig, auch wenn eines ihrer Szenarien später anders eingeordnet wird. Szenarien sind eben keine Vorhersagen, sondern Was-wäre-wenn-Geschichten. Wer diesen Unterschied einmal durchschaut, erkennt auch, warum genau solche Anpassungen in der Öffentlichkeit gern zur Falschbehauptung „der Weltklimarat gibt zu, dass er sich geirrt hat“ umgedeutet werden – damit beschäftigt sich das Material [Ein Fall aus 2026: Das ‚gestrichene‘ Klimaszenario](#).



Glückwunsch: Sie haben den Tathergang aufgeklärt: Anstieg der CO_2 -Konzentration bedingt eine Erniedrigung der Carbonat-Konzentration im Meerwasser – Kalkbildung wird erschwert. Und jeder weiß ja auch: Kalk löst sich in Säure auf.

Aber das Meerwasser ist heute noch alkalisch. Warum zeigen Schnecken, Korallen und Seeigel trotzdem schon jetzt Probleme? Wer dieser Frage nachgehen möchte, findet hier eine Antwort.



Schritt 5 - freiwillig - warum gibt es bereits im leicht alkalischen Milieu Probleme

- 12 Lesen Sie den Text und betrachten Sie die Abbildung oder schauen Sie sich das Video an.
- 13 Erläutern Sie in eigenen Worten, warum kalkbildende Organismen bereits im schwach alkalischen Milieu Schwierigkeiten haben, Kalkskelette aufzubauen – obwohl Kalk unter diesen Bedingungen nicht gelöst wird.
- 14 Ergänzen Sie gerne noch die ein oder andere Erkenntnis als letztes Beweisstück in Ihrer Fallakte.

M5 Komplexere Zusammenhänge - für Interessierte

Noch ist das Meerwasser nicht sauer. Warum haben Schnecken, Korallen, Algen aber bereits jetzt Probleme, Kalk zu produzieren? Dazu muss man verstehen, dass all diese Lebewesen an die lange Zeit vorherrschende Situation im Meer angepasst waren.

Kalkbildende Lebewesen bauen ihre Schalen und Skelette nicht durch passives Ausfällen von Calciumcarbonat auf. Dieser Prozess ist **aktiv gesteuert** und **erfordert Energie**.

Im Inneren spezialisierter Zellen oder Zellräume (Kalkbildungsraum) entstehen aus Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^-) zunächst Carbonat-Ionen (CO_3^{2-}). Dabei entstehen Protonen (H^+), die aktiv aus dem Kalkbildungsraum herausgeschleust werden müssen – durch spezialisierte

Protonenkanäle (bei Seeigellarven Otopetrin, bei Kalkalgen der Hv1-Kanal). Dieser Kanal funktioniert jedoch nur unter bestimmten pH-Bedingungen optimal und wird mit sinkendem pH im Außenmedium zunehmend beeinträchtigt.¹⁵

Neuere Untersuchungen zeigen zudem, dass Hydrogencarbonat-Ionen an den allerersten Schritten der Kalkbildung beteiligt sind: Sie beeinflussen die Bildung winziger Calciumcarbonat-Cluster, aus denen später die eigentlichen Kristalle entstehen. Dazu wird ein bestimmtes Verhältnis benötigt. Ob und wie eine Verschiebung die Kristallbildung beeinflusst, ist Gegenstand aktueller Forschung.¹⁶

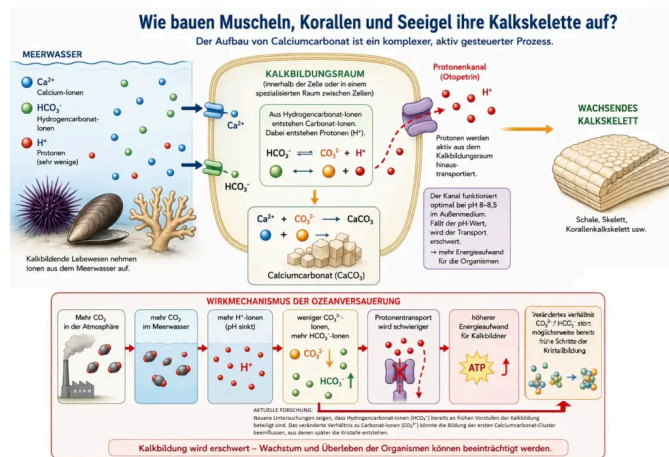


Abb. 9: Vereinfachte schematische Darstellung der Biomineralisation und möglicher Auswirkungen der Ozeanversauerung auf kalkbildende Organismen.¹⁷

Einzelnachweise

- Gregor von Borstel 2017
- Gregor von Borstel, nach einer Idee von N. Thomas und dem FS Chemie ZfsL Bonn, 2026
- Hall-Spencer, J. M., Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S., Ransome, E., Fine, M., Turner, S. M., Rowley, S. J., Tedesco, D., & Buia, M. C. (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454(7200), 96–99. fig. 4 S. 98 <https://doi.org/10.1038/nature07051>
- Turner, Lucy M; Madeira, Diana; Ricevuto, Elena; Massa Gallucci, Alexia; Sommer, Ulf; Viant, Mark R; Dineshram, Ramadoss; Gambi, Maria Cristina; Calosi, Piero (2023): Metabolomic profiles of *Platynereis* spp. collected from inside and outside the CO2 vent (Ischia, Italy) and used in a reciprocal transplant experiment in September 2013 [dataset]. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.953906>
- Eigene Darstellung mit Hilfe von KI
- Jason Hall-Spencer ist ein britischer Meeresbiologe und Professor an der University of Plymouth. Er ist bekannt für seine Forschung im Bereich der marinen Ökologie, insbesondere in Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels auf marine Lebensräume und die Biodiversität der Ozeane. Seine Arbeiten umfassen auch die Untersuchung von Korallenriffen, Unterwasserökosystemen und den Einfluss von menschlichen Aktivitäten auf die Meeresumwelt. Hall-Spencer hat zahlreiche wissenschaftliche Artikel veröffentlicht und ist aktiv in der Aufklärung über den Schutz der Meere und die Erhaltung der marinen Biodiversität.
- Hall-Spencer, J. M., Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S., Ransome, E., Fine, M., Turner, S. M., Rowley, S. J., Tedesco, D., & Buia, M. C. (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454(7200), 96–99. <https://doi.org/10.1038/nature07051>
- mit freundlicher Genehmigung des Autors entnommen aus Hall-Spencer et. al. (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454(7200), 96–99. fig. 4 S. 98 <https://doi.org/10.1038/nature07051>; Die Aufnahmen zeigen typische Beispiele von *Osilinus turbinata* mit intaktem Periostracum bei pH 8,2 und mit abgelösten alten Teilen des Periostracums bei einem durchschnittlichen pH-Wert von 7,3
- Eine Fußnote verweist auf die Quelle einer Aussage – hier z. B. auf die Originalstudie, aus der ein Befund stammt.
- Gregor von Borstel 2017, Hinweis: der damals verwendete UNISOL Indikator zeigte im Alkalischen eine Lilafärbung
- Gregor von Borstel, 2026
- Das „Bjerrum-Diagramm“, verändert nach fig. 2 aus Rohling, Eelco. (2023). Marine methods for carbon dioxide removal: fundamentals and myth-busting for the wider community. *Oxford Open Climate Change*. 3. 10.1093/oxfclm/kgad004, CC-BY 4.0.
- Die Kurven und Karten in zeigen die Daten in einer für den Unterricht vereinfacht dargestellten Form. Ihnen liegen Modelle und Messwerte zugrunde, aber es sind keine Abbildungen, die 1:1 aus wissenschaftlichen Artikeln übernommen wurden. Gregor von Borstel unter Nutzung generativer KI (OpenAI), CC BY-SA 4.0.
- Van Vuuren, D. P. et al. (2026): The Scenario Model Intercomparison Project for CMIP7 (ScenarioMIP-CMIP7). *Geoscientific Model Development* 19, 2627–2656, DOI 10.5194/gmd-19-2627-2026 (Open Access, CC BY 4.0, veröffentlicht 07.04.2026).
- Tetsch, L. (2023), Ganz schön verkalkt. *Chem. Unserer Zeit*, 57: 284-287. <https://doi.org/10.1002/chiuz.202300029>
- Huang, Y.-C. et al. (2021): Aufdeckung der Rolle von Hydrogencarbonat-Ionen bei der Bildung von Calciumcarbonat im nahezu neutralen pH-Bereich. *Angewandte Chemie* 133(30), 16843–16850. DOI: 10.1002/ange.202104002

17 Erstellt von Gregor von Borstel unter Nutzung generativer KI (OpenAI) auf Grundlage von Tetsch (2023) und Huang et al. (2021). Grafik und Text vereinfachend dargestellt. Lizenz: CC BY-SA 4.0.

18 Dr. Sebastian Rokitta, [AWI](#)

19 Bild KI generiert mit DALL-E; <https://www.zdfheute.de/wissen/korallen-korallenriffe-3d-drucker-ton-100.html>, Zugriff 17.06.2026)