

Die Ozean-CO₂-Rückkopplung – der kleine Bruder der Klimaerwärmung

Martin Loose, Berlin

Niveau: Sek. II

Dauer: 3–4 Unterrichtsstunden

Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler können ...

- Gesetzmäßigkeiten erkennen und anwenden
- Versuche planen, durchführen und auswerten
- Experimente, Erkenntnisse und Fakten in angemessener Fachsprache präsentieren
- Reaktionsgleichungen zu Gleichgewichtsreaktionen aufstellen
- ökologische Aspekte und Stoffkreisläufe im Sinne der Nachhaltigkeit beurteilen

Der Beitrag enthält Materialien für:

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| ✓ Fachübergreifenden Unterricht | ✓ Schülerversuche |
| ✓ Differenzierungsmöglichkeiten | ✓ Low-Cost-Experimente |
| ✓ Partnerarbeit | ✓ Hausaufgaben |

Hintergrundinformationen

Aufgrund ihres großen Volumens und ihrer Fähigkeit zur Pufferung des aufgenommenen Kohlenstoffdioxids geht man davon aus, dass die Ozeane etwa ein Drittel des vom Menschen ausgestoßenen Treibhausgases speichern (CO₂-Senke). Die zunehmende Erd- und Meereserwärmung wirkt sich jedoch auf die CO₂-Speicherungsfähigkeit der Ozeane aus. Die Eigenheit der Wassermassen als klimaregulierende CO₂-Senke wird verringert, was den Treibhauseffekt und die Meereserwärmung wiederum verstärkt (Ozean-CO₂-Rückkopplung).

Auch die in den letzten Jahren gemessene Veränderung des pH-Wertes des Meerwassers von 8,2 auf 8,1 (Ozeanversauerung) hat zum Teil massive Folgen für unser Ökosystem. Insbesondere die kalkbildenden Organismen wie Korallen oder Kalkalgen leiden darunter, da ihre Skelette auf Kalk basieren und die Kalkproduktion im saureren Milieu erschwert ist.

Das Leben im Meer ist durch einen weiteren, dritten Prozess bedroht. Dadurch, dass sich vor allem die obere Wasserschicht erwärmt, nimmt ihr Volumen zu und ihre Dichte sinkt. Der Dichteunterschied zu den kälteren Meeresschichten führt zu einem erschweren Austausch von Gasen – insbesondere von Sauerstoff – und von Nährstoffen mit tieferen Wasserschichten.

Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid ist beschränkt und vornehmlich von den Einflussgrößen Druck und Temperatur, aber auch vom Salzgehalt abhängig. Das Prinzip vom kleinsten Zwang (Prinzip von Le Chatelier) hilft, die ablaufenden Gleichgewichtsreaktionen zu verstehen, um im Kontext des Schlüsselproblems Klimaerwärmung die Eingriffe des Menschen in Stoffkreisläufe zu beurteilen.

So folgt dieser Beitrag dem Thema des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung ausgerufenen Wissenschaftsjahres 2016/2017 „Meere und Ozeane: Entdecken.“

* Im weiteren Verlauf wird aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit nur „Schüler“ verwendet. Schülerinnen sind genauso gemeint.

Nutzen. Schützen.“, in welchem Fragen zur Bedeutung der Meere, ihrem Schutz und auf drohende Gefahren nachgegangen werden soll.

Hinweise zur Didaktik und Methodik

Zentraler Punkt für die **erste Problematisierungsphase** bildet der Presseartikel **M 1**, der die Schüler auf das Thema fokussiert und sie zur Ableitung von mehreren Problemfragen auffordert, die im Folgenden untersucht und beantwortet werden. Es bietet sich an, diese zentral an einer Tafel oder im Hefter eines jeden Schülers zu sichern. Die Erarbeitung erfolgt zunächst im Klassenverband.

In **M 2** untersuchen die Schüler experimentell die Temperaturabhängigkeit der CO₂-Löslichkeit in Wasser und gewinnen so ein Verständnis für die Vorgänge der Ozean-CO₂-Rückkopplung. Es bietet sich aufgrund der Kostenvorteile und der einfachen Handhabbarkeit an, das Experiment mithilfe von Medizintechnik durchzuführen. Außerdem zeigt die Erfahrung, dass relativ genaue Messwerte ermittelt werden. Über eine Infobox wird das Prinzip des kleinsten Zwangs (Prinzip von Le Chatelier) eingeführt.

Nun folgt die Öffnung zu einer weiteren praktischen Phase, die zur Planung zweier Versuche in **M 3a** und **M 3b** auffordert. In arbeitsteiliger Partnerarbeit untersuchen die Schüler die Druck- bzw. Konzentrationsabhängigkeit des Lösungsvorgangs von Kohlenstoffdioxid in Wasser. Falls die Schüler im Umgang mit Spritzentechnologie noch nicht geübt sind, sollte ihnen die Erfahrung im Umgang aus dem ersten Versuch in M 2 ausreichen, um die Versuche zu planen. Legen Sie den Schülern gegebenenfalls die Lösung zur Selbstkontrolle aus. Um die Erkenntnisse zusammenzufassen, tauschen sich die Schüler in Partnerarbeit aus und formulieren vier Merksätze zum Prinzip von Le Chatelier und zur Verschiebung des Gleichgewichts bei Druck-, Temperatur- und Konzentrationsänderung.

Die Texte **M 3a** und **M 4b** zeigen auf, dass die Fähigkeit der Ozeane, Kohlenstoffdioxid aufzunehmen, nicht allein auf chemischen, sondern besonders auch auf physikalischen und biologischen Prozessen beruht. So wird ein Verständnis für komplexe, offene Systeme angebahnt. Auch diese Materialien werden arbeitsteilig in Partnerarbeit bearbeitet und können zur Übung des Textverständnisses eingesetzt werden.

Abgeschlossen wird die erste Problematisierung, indem sich die Partner austauschen. Die in **M 1** aufgeworfenen Fragen sollten in je 1–3 Sätzen beantwortet werden. Sichern Sie die Phase danach im Plenum. Ergeben sich weitere Fragen? Notieren Sie sie, um Möglichkeiten zum eigenen forschenden Lernen zu eröffnen.

Die Beantwortung der Fragen der ersten Problematisierung kann auch als Hausaufgabe erfolgen, um den Unterricht zeitlich zu entlasten. Es ist sehr wichtig, dass die Schüler ihre Erkenntnisse und ihr neues Wissen problembezogen versprachen. Dies dient zum einen dazu, ein abschließendes Lernprodukt zu erhalten, zum anderen fördert dieses Vorgehen nachhaltiges Lernen.

Gegenstand der vertiefenden, **zweiten Problematisierungsphase** ist die Ozeanversauerung (**M 5**). Hier wird die Gleichgewichtsreaktion der Kohlensäure entwickelt und auf die Verschiebung des pH-Wertes des Ozeans angewendet. Die Sicherung erfolgt zur besseren Visualisierung in einem Schaubild. Zur Binnendifferenzierung und zur Verdeutlichung, was ein sinkender pH-Wert von 8,2 auf 8,1 bedeutet, wird eine Aufgabe zum Umrechnen des pH-Wertes in die Konzentration angeboten. Das Material kann auch als Hausaufgabe ausgelagert werden.

Um die Einheit abzuschließen, bietet es sich an, den eingangs aufgelegten Presseartikel **M 1** von den Schülern fortsetzen zu lassen. Thema der Fortsetzung könnte sein, einen fachlichen Artikel bezüglich der ökologischen Probleme und schwierigen Abschätzung der Folgen des Eingriffs des Menschen in den Kohlenstoffkreislauf zwischen Atmosphäre und Ozean zu formulieren.

Internet

https://www.youtube.com/user/ChemzTV/videos?shelf_id=2&sort=dd&view=0

ChemZ stellt einige der angebotenen Experimente auch als Video auf einer eigenen Seite bei Youtube bereit. Zum einen können Sie die Videos für sich nutzen, um die Handhabung von Medizintechnik zu erlernen, und zum anderen können Sie sie mit Ihren Schülern anschauen und besprechen.

<http://bildungsserver.hamburg.de/treibhausgase/2055556/kohlenstoffkreislauf-ozean-artikel/>

Auf dem Hamburger Bildungsserver liegt ein knapp gehaltener, aber sehr differenzierter Artikel zur Veränderung des ozeanischen Kohlenstoffkreislaufs im Zuge der Klimaveränderung.

Bezugsquellen

<http://chemz.webshopapp.com>


Adapter für M 2, M 3a und M 3b

<http://chemz.webshopapp.com/verbinder-spritze-schlauch.html>


Medizinisches Zubehör kann über verschiedene Quellen bezogen werden. Es bieten sich Bestellungen über Apotheken oder Online-Shops an. Letztere verfügen meist über die günstigeren Preise. Neben den großen, bekannten Online-Shops bietet sich der Shop von ChemZ an, da hier ein durchdachtes Konzept für den Einsatz im Unterricht dahintersteht.

Materialübersicht


⌚ V = Vorbereitungszeit ⌚ SV = Schülerversuch AB = Arbeitsblatt/Informationsblatt
⌚ D = Durchführungszeit Fo = Folie

M 1	Fo	Die Ozeane im Zeichen des Klimawandels	
M 2	SV	Der Einfluss der Temperatur auf die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid	
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Kohlenstoffdioxid aus der Gasflasche 	<input type="checkbox"/> 2 x 50-ml-Luer-Lock-Spritzen pro Gruppe
	⌚ D: 10 min	<input type="checkbox"/> Eiswürfel für Eiswasser	<input type="checkbox"/> 1 Verbindungsstück (female/female) pro Gruppe
		<input type="checkbox"/> kaltes und heißes Leitungswasser	<input type="checkbox"/> 1 Verschlussstopfen (Rotkappchen) pro Gruppe
			<input type="checkbox"/> 3 x 150-ml-Bechergläser pro Gruppe
			<input type="checkbox"/> 1 Thermometer pro Gruppe
			<input type="checkbox"/> Wasserkocher

M 3a SV **Der Einfluss des Drucks auf die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid**

- ⌚ V: 5 min Kohlenstoffdioxid aus der Gasflasche 
- ⌚ D: 10 min Leitungswasser
- 2 x 50-ml-Luer-Lock-Spritzen pro Gruppe, eine davon mit durchbohrtem Stempel präpariert
- 1 Verbindungsstück (female/female) pro Gruppe
- 1 Verschlussstopfen (Rotkännchen) pro Gruppe
- 1 Nagel pro Gruppe

M 3b SV **Der Einfluss des Salzgehaltes auf die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid**

- ⌚ V: 5 min Kohlenstoffdioxid aus der Gasflasche 
- ⌚ D: 10 min Kochsalz
- Leitungswasser
- 2 x 50-ml-Luer-Lock-Spritzen pro Gruppe
- 1 Verbindungsstück (female/female) pro Gruppe
- 1 Verschlussstopfen (Rotkännchen) pro Gruppe
- 3 x 150-ml-Bechergläser pro Gruppe
- 1 Spatel pro Gruppe
- Waage pro Gruppe

M 4a Ab **Der ozeanische Kohlenstoffkreislauf – die physikalische Kohlenstoffpumpe****M 4b Ab** **Der ozeanische Kohlenstoffkreislauf – die biologische Kohlenstoffpumpe****M 5 Ab** **Die Versauerung der Ozeane****Minimalplan**

Ihnen steht nur wenig Zeit zur Verfügung? Dann lässt sich die Unterrichtseinheit auf **zwei Stunden** kürzen. Die Planung sieht dann wie folgt aus:

1. Stunde (M 1–M 2)	Steigen Sie mit dem Presseartikel M 1 ein, schränken Sie die Fragestellung auf den Einfluss der Temperatur ein und gehen Sie direkt zum Schülerversuch M 2 über.
2. Stunde (M 5)	Gehen Sie direkt zur vertiefenden Problematisierung, die Ozeanversauerung M 5 , und bearbeiten Sie die Aufgaben 1–4.


Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 18.


M 2 Der Einfluss der Temperatur auf die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid

Im Zuge der globalen Erwärmung erwärmen sich auch die Wassermassen der Weltmeere. Wie beeinflusst die steigende Wassertemperatur das Gleichgewicht zwischen atmosphärischem und gelöstem Kohlenstoffdioxid?

Schülerversuch: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser bei verschiedenen Temperaturen

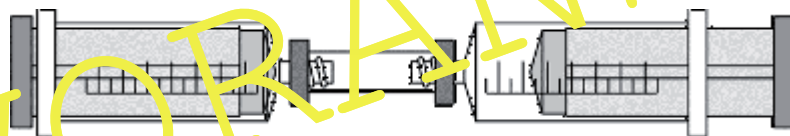
🕒 Vorbereitung: 5 min Durchführung: 10 min

Chemikalien / Gefahrenhinweise	Geräte
<input type="checkbox"/> Kohlenstoffdioxid aus der Gasflasche 	<input type="checkbox"/> 2 x 50-ml-Luer-Lock-Spritzen
<input type="checkbox"/> Eiswürfel	<input type="checkbox"/> 1 Verbindungsstück (female/female)
<input type="checkbox"/> kaltes (ca. 20 °C) und heißes Leitungswasser (ca. 40 °C)	<input type="checkbox"/> 1 Verschlussstopfen (Rotkappchen)
	<input type="checkbox"/> 3 x 150-ml-Bechergläser
	<input type="checkbox"/> 1 Thermometer
	<input type="checkbox"/> Wasserkocher

 **Achtung:** Verbrühungsgefahr – Achten Sie auf eine nicht zu hohe Wassertemperatur.

Entsorgung: Ausguss

Versuchsaufbau




Versuchsdurchführung

- Stellen Sie im Becherglas Eiswasser her, indem Sie einige Eiswürfel mit kaltem Leitungswasser aufgießen. Bestimmen Sie die Wassertemperatur.
- Füllen Sie dann die eine Spritze mit 25 ml Eiswasser (ca. 5 °C) und die andere mit 25 ml Kohlenstoffdioxid.
- Verbinden Sie dann beide Spritzen über das Verbindungsstück.
- Drücken Sie das Gas in die Spritze mit Wasser und verschließen diese Spritze mit dem Verschlussstopfen.
- Schütteln Sie die Spritze so lange, bis sich kein weiteres Gas mehr löst.
- Ermitteln Sie das Volumen des gelösten Gases.
- Führen Sie den Versuch mit zwei anderen Wassertemperaturen (ca. 20 °C und 40 °C) durch.

I/F

Arbeitsauftrag

1. Planen Sie mithilfe folgender Materialien einen Versuch, um den Einfluss des Drucks auf den Austausch von Kohlenstoffdioxid zwischen Atmosphäre und Ozean zu untersuchen.

Chemikalien / Gefahrenhinweise	Geräte
<input type="checkbox"/> Kohlenstoffdioxid aus der Gasflasche  <input type="checkbox"/> Leitungswasser	<input type="checkbox"/> 2 x 50-ml-Luer-Lock-Spritzen, eine davon mit durchbohrtem Stempel präpariert <input type="checkbox"/> 1 Verbindungsstück (female/female) <input type="checkbox"/> 1 Verschlussstopfen (Rotkämpchen) <input type="checkbox"/> 1 Nagel

Hinweis: Für das Präparieren der einen Spritze zieht man den Stempel maximal heraus und durchbohrt ihn mit einem erhitzten Nagel. Später wird der Nagel dann als Querbolzen benutzt, um den Stempel bei Unterdruck zu fixieren (siehe Abb. 1).

2. Vergleichen und besprechen Sie Ihre Ideen in Kleingruppen und notieren Sie Ihr geplantes Vorgehen.

3. Führen Sie dann den Versuch durch und notieren Sie Ihre Beobachtungen.

4. Setzen Sie den Internet-Artikel um 2–3 Sätze fort, wobei Sie sich auf die Funktion des Ozeans als CO₂-Senke beziehen. Argumentieren Sie mit dem Prinzip von Le Chatelier.

5. Tauschen Sie sich mit einem Partner der anderen Gruppe (M 3b) aus. Halten Sie Ihre Erkenntnisse in 4 Merksätzen fest. In diesen Merksätzen sollten Sie

• das Prinzip des kleinsten Zwangs in Ihren eigenen Worten möglichst kurz formulieren und

- sowohl bei Druck-, Temperatur- als auch Konzentrationsänderung jeweils einen „Je-desto-Satz“ für die Verschiebung des Gleichgewichts von CO₂ in Wasser notieren.

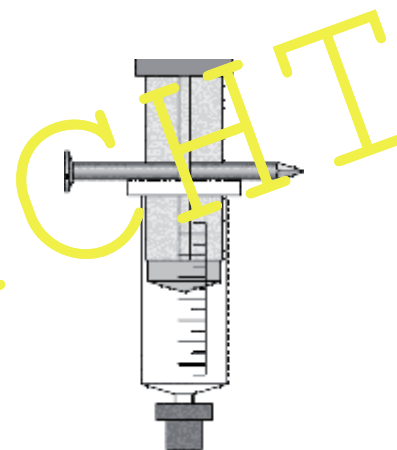


Abb. 1: Präparierte Spritze mit durchbohrtem Stempel

M 4a Der ozeanische Kohlenstoffkreislauf – die physikalische Kohlenstoffpumpe

Die Ozeane sind im globalen Kohlenstoffkreislauf sowohl Kohlenstoffdioxid-Senken als auch Kohlenstoffdioxid-Quellen. Als CO₂-Senke nehmen die Ozeane mehr CO₂ auf, als sie abgeben, als Quelle hingegen geben sie mehr CO₂ in die Atmosphäre ab, als sie aufnehmen. Jährlich werden etwa 90 Gt Kohlenstoffdioxid zwischen Ozean und Atmosphäre ausgetauscht. Dafür verantwortlich sind chemische, physikalische, biologische und geologische Einflüsse.

Gigantische Wasserfälle in den Ozeanen

Der Golfstrom ist Teil eines riesigen Strömungssystems in den Weltmeeren. Er transportiert warmes Wasser vom Äquator zu den Polen. Der Salzgehalt nimmt durch Verdunstung stetig zu. Im Norden trifft der sich abkühlende Golfstrom auf weitere kalte Strömungen, sodass sich Wassermassen mit niedriger Temperatur und hohem Salzgehalt an der Ozeanoberfläche bilden. Die Dichte der obersten Wasserschicht wird größer als die der darunterliegenden. Das Wasser sinkt in die Tiefe und reißt das gelöste Kohlenstoffdioxid in einem Wasserfall mit sich, der 20-mal mehr Volumen aufweist als alle Flüsse der Erde zusammen. Rund ein Viertel des Transports von anthropogenem, atmosphärischem Kohlenstoffdioxid in die Tiefsee wird auf diesen Vorgang zurückgeführt. Er wird als physikalische Kohlenstoffpumpe bezeichnet.

Das marine Förderband

Im Südpolarmeer der Antarktis entsteht nach dem gleichen Schema eine zweite Tiefenwasserströmung (vgl. Abb. 1), welche sich mit der Tiefenwasserströmung aus dem Atlantik vereinigt. Beide strömen vom Südatlantik in den indischen Ozean und Pazifik, wo das Wasser wieder an die Oberfläche steigt und in den Atlantik zurückstrebt. Mit einer Geschwindigkeit von nur etwa 10 Metern pro Tag braucht der Tiefenstrom ungefähr 1000 Jahre, bis er wieder an die Oberfläche kommt – solange bleibt auch Kohlenstoffdioxid in der Tiefsee gespeichert.

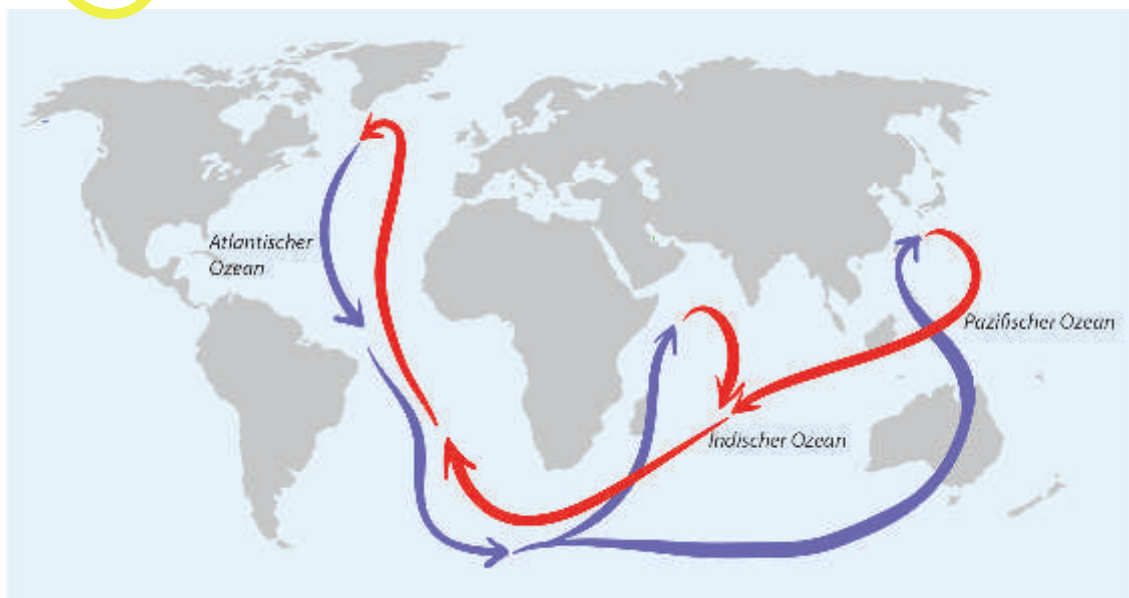


Abb. 1: Das marine Förderband

M 4b Der ozeanische Kohlenstoffkreislauf – die biologische Kohlenstoffpumpe

Die Ozeane sind im globalen Kohlenstoffkreislauf sowohl Kohlenstoffdioxid-Senken als auch Kohlenstoffdioxid-Quellen. Als CO₂-Senke nehmen die Ozeane mehr CO₂ auf, als sie abgeben, als Quelle hingegen geben sie mehr CO₂ in die Atmosphäre ab, als sie aufnehmen. Jährlich werden etwa 90 Gt Kohlenstoffdioxid zwischen Ozean und Atmosphäre ausgetauscht. Dafür verantwortlich sind chemische, physikalische, biologische und geologische Einflüsse.

Fotosynthese in den Ozeanen

Das Phytoplankton betreibt Fotosynthese, wobei es dem Oberflächenwasser das gelöste Kohlenstoffdioxid entzieht. Dadurch baut es Biomasse auf und ist gleichzeitig die Nahrungsgrundlage für alle anderen maritimen Lebewesen, wie zum Beispiel das Zooplankton. Durch den Stoffwechsel wird wieder Kohlenstoffdioxid in die Oberflächenschichten abgegeben. Das Binden und Ausstoßen von Kohlenstoffverbindungen durch Pflanzen und Tiere nennt man **biologischer Puffer**. Reste von abgestorbenen Pflanzen und Tieren, aber auch deren Kot sinken langsam als mariner Schnee in die Tiefe der Meere hinab. Dieser Abwärtsfluss von organischem Kohlenstoff aus dem oberen Ozean wird als **biologische Pumpe** bezeichnet.

Nur ein minimaler Teil des Kohlenstoffs lagert sich als Sediment auf dem Meeresboden ab und wird dort gespeichert. Der restliche organische Kohlenstoff wird im tiefen Ozean von Bakterien zersetzt. Dabei bildet sich wieder Kohlenstoffdioxid, welches in gelöster Form durch aufsteigendes Wasser an die Oberfläche gelangt.

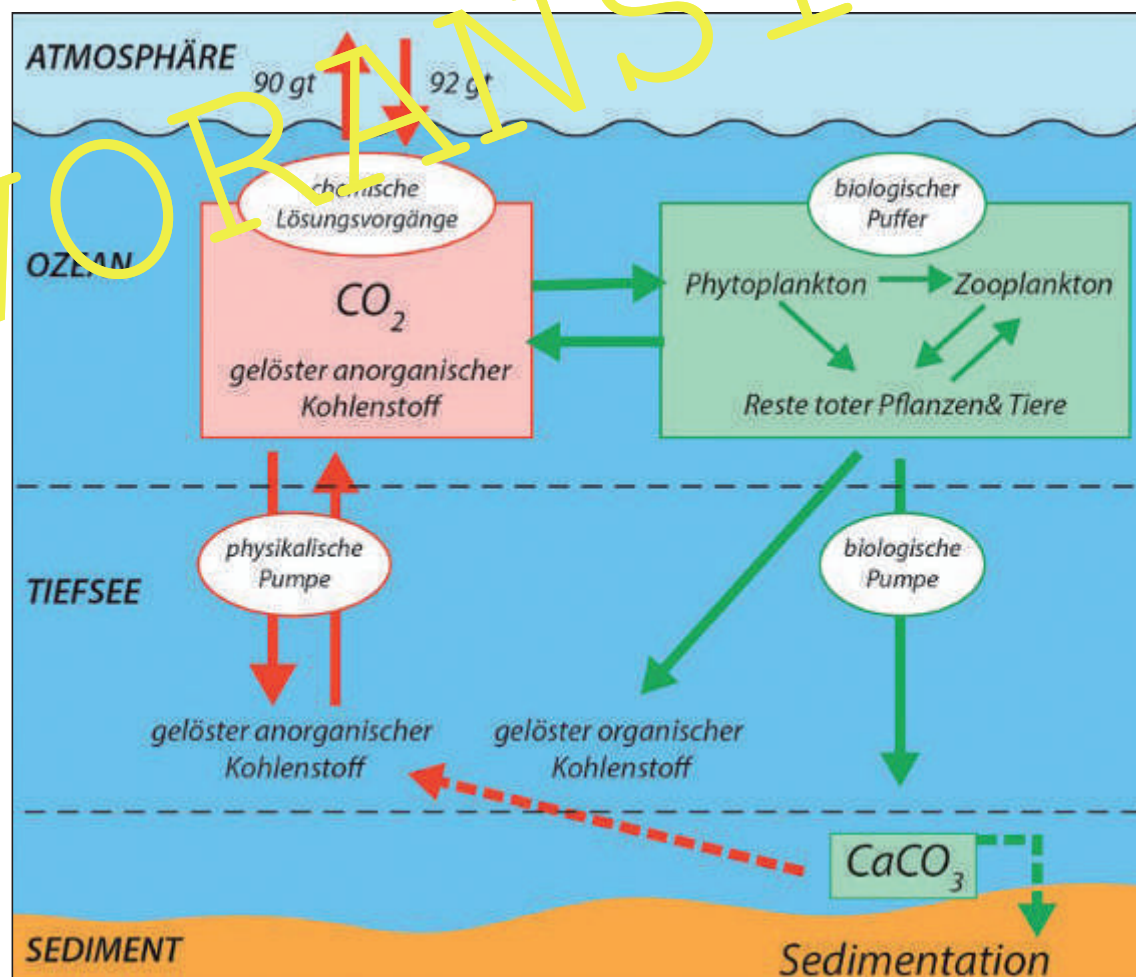


Abb. 1: Der ozeanische Kohlenstoffkreislauf. Physikalische und chemische Prozesse sind rot, biologische Prozesse grün dargestellt.

M 5 Die Versauerung der Ozeane

In Wasser löst sich bezogen auf die Masse rund 40-mal mehr Kohlenstoffdioxid als Sauerstoff. Wie lässt sich das erklären und welche Folgen hat dies auf den pH-Wert der Ozeane?

Kohlenstoffdioxid reagiert mit dem Wasser

Das physikalisch gelöste Kohlenstoffdioxid kann mit Wasser weiterreagieren. Neben Kohlensäure H₂CO₃ (1) bilden sich auch Hydrogencarbonat-Ionen HCO₃⁻ und Protonen H⁺ (2). Ein kleiner Teil der Hydrogencarbonat-Ionen spaltet ein weiteres Proton ab und reagiert zu Carbonat-Ionen CO₃²⁻ weiter (3).

Was der Mensch durch das Verbrennen fossiler Energieträger (Öl, Kohle, Gas) an Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre entlässt, tritt im Ozean in chemische, physikalische und biologische Prozesse ein. Chemisch betrachtet reagiert das Treibhausgas CO₂ mit Carbonat-Ionen CO₃²⁻ (4). Die Reaktion führt zur Bildung einer wässrigen Lösung von Hydrogencarbonat-Ionen HCO₃⁻. Dies bedeutet, dass das Kohlenstoffdioxid bei der Aufnahme aus der Atmosphäre fast vollständig in andere Verbindungen umgewandelt wird.

Die Ozeanversauerung – der böse Zwilling der Klimaerwärmung

Die Wissenschaftler am Alfred-Wegener-Institut hatten erkannt, dass der steigende Anteil von Kohlenstoffdioxid in der Luft auch die Chemie der Ozeane verändern würde. Jetzt wollen sie herausfinden, wie sich das saurere Meerwasser auf seine Bewohner auswirkt – und letztlich auch auf uns Menschen.

Mit einem durchschnittlichen pH-Wert von 8,2 ist Meerwasser leicht alkalisch. Der Wert ist jedoch in den letzten zweihundert Jahren auf 8,1 gesunken. Das hört sich nach nicht viel an, aber pH-Werte sind logarithmisch. Das bedeutet nicht, dass die Ozeane zu einer sauren Lösung werden. Auch bei Werten um 7,7 – die für das Jahr 2100 angenommen werden – bleiben sie alkalisch, allerdings sind sie saurer als zuvor. Daher spricht man von der Ozeanversauerung.

Forscher erwarten, dass besonders Lebewesen mit Kalkschalen und Skeletten, wie Korallen (s. Abb. 1) und Muscheln, unter der Ozeanversauerung leiden werden. Die Kohlensäure vermindert die Menge an Carbonat-Ionen, einem Bestandteil des Kalks. Auch der herabgesetzte pH-Wert kann die Kalkbildung behindern. Korallen, Muscheln und Fische müssen in der Folge mehr Energie aufwenden, um ihr Gehäuse oder Skelett aufzubauen.



Quelle: thinkstock.top photo corporation

Abb. 1: Korallen reagieren empfindlich auf saureres Wasser.

Die Ozeanversauerung hat erhebliche Folgen für das gesamte Ökosystem – angefangen von der Nahrungskette bis hin zum Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre. Kalk produzierende Algen bilden zum einen durch Fotosynthese Biomasse, zum anderen speichern sie Kohlenstoff in ihren Gehäusen. Sterben sie ab, so sinken sie aufgrund ihres Kalkgehaltes in die Tiefe. Dadurch wird ein Teil des Kohlenstoffs in größere Tiefen befördert. Wiederum ein Teil davon lagert sich auf dem Meeresboden ab und formt über geologische Zeiträume Kalkablagerungen wie beispielsweise die Kreidefelsen von Rügen. Die Ozeanversauerung aber lässt die Kalkgehäuse der Algen dünner werden, sodass der Ballasteffekt verringert und die Kohlenstoff-Speicherfunktion der Ozeane gehemmt wird.

resboden ab und formt über geologische Zeiträume Kalkablagerungen wie beispielsweise die Kreidefelsen von Rügen. Die Ozeanversauerung aber lässt die Kalkgehäuse der Algen dünner werden, sodass der Ballasteffekt verringert und die Kohlenstoff-Speicherfunktion der Ozeane gehemmt wird.