

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	11/12
Dauer:	3–4
Kompetenzen:	1. Bewertungskompetenz; 2. Erkenntnisgewinnungskompetenz; 3. Fachkompetenz; 4. Kommunikationskompetenz
Methoden:	Think-Pair-Share, Unterrichtsgespräch, Übung, Schülerexperiment, Textarbeit, Diskussion
Inhalt:	Le Chatelier, Löslichkeit, Nachhaltigkeit, CO ₂ -Rückkopplung, CO ₂ -Senke, Druck, Temperatur, Konzentration, Ozeanversauerung, Calcit Aragonit, Muscheln, Kohlenstoffpumpe, Gleichgewichtsreaktion

Fachliche Hinweise

Ozeane bedecken circa 71 % unserer Erde und haben im globalen Kohlenstoffkreislauf die Funktion einer **CO₂-Senke**. D. h. sie nehmen mehr Kohlenstoff aus der Atmosphäre auf, als sie wieder abgeben. 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. Die Meere und Ozeane enthalten mehr als 38.000 Gt Kohlenstoff, zumeist in Form von **gelöstem, anorganischem Kohlenstoff** als Kohlensäure (H₂CO₃), Hydrogencarbonat- (HCO₃⁻) und Carbonat-Ionen (CO₃²⁻).

Der **Klimawandel** nimmt direkten Einfluss auf die **Umweltbedingungen der Ozeane** und damit auch direkt auf ihre Funktion als CO₂-Senke. In vielen Regionen der Erde wird es in den kommenden Jahren und Jahrzehnten zu signifikanten Veränderungen kommen, die bedeutenden Einfluss auf das Leben in den Ozeanen nehmen werden. Die genauen Effekte lassen sich zurzeit jedoch durch noch unbekannte Parameter innerhalb der **Klimamodelle** nur schwer einschätzen. Zu den heute schon messbaren Auswirkungen zählen vor allem die **Sauerstoffverarmung**, die **Ozeanversauerung**, die steigenden **Wassertemperaturen** und **Ozean-CO₂-Rückkopplung**.

Sauerstoffverarmung

Das Leben im Meer und damit auch für den Menschen ist durch einen weiteren Prozess stark bedroht. Dadurch, dass sich vor allem die obere Wasserschicht erwärmt, dehnt sie sich aus und erhält eine geringere Dichte. Dieser Dichteunterschied führt zu einer zunehmenden Schichtung, sodass der Austausch von Gasen – insbesondere von Sauerstoff – und von Nährstoffen mit tieferen Wasserschichten kleiner wird. Aus Gründen der didaktischen Reduktion wird in diesem Beitrag nicht weiter darauf eingegangen.

Ozeanversauerung

Das Oberflächenwasser der Meere hatte vor der industriellen Revolution 1850 einen pH-Wert von durchschnittlich 8,2. Seitdem ist der pH-Wert um etwa 0,1 Punkte gefallen. Da es sich bei dem pH-Wert um eine logarithmische Skala handelt, bedeutet diese anscheinend kleine Differenz bereits eine Versauerung der Meere um etwa 30 %. Berechnungen zum Klimawandel sagen voraus, dass bis zum Jahre 2100 ein pH-Wert von 7,8 erreicht werden könnte. Das entspräche einer Erhöhung des Säuregrads des Oberflächenwassers der Meere um 150 % im Vergleich zu heute. Die derzeit gemessene Versauerung hat zum Teil massive Folgen für die marine Fauna, da deren Skelette auf Kalk basieren. Kalkbildenden Organismen wie Korallen oder Kalkalgen wird die Kalkproduktion in einem saureren Milieu erschwert.

Wassertemperaturen

Die Oberflächentemperatur der Ozeane steigt jedes Jahr kontinuierlich an, mit verheerenden Folgen, wie dem Anstieg des Meeresspiegels, der Veränderung des Wetters und dem Verlust der Artenvielfalt.

Ozean-CO₂-Rückkopplung

Eine weitere Folge der Erd- und damit auch der Meereseerwärmung ist die geringere Speicherkapazität für Kohlenstoffdioxid. Die Eigenschaft der Wassermassen als klimaregulierende CO₂-Senke wird verringert, was den Treibhauseffekt und die Meereseerwärmung wiederum verstärkt (Ozean-CO₂-Rückkopplung).

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.

Didaktisch-methodische Hinweise

Als **Einstieg** dient der Zeitungsartikel (**M 1**), der das Interesse bei den Schülerinnen und Schülern weckt und im Zuge dessen sie zur Ableitung von mehreren Problemfragen auffordert, die im Folgenden untersucht und beantwortet werden. Es bietet sich an diese gesammelt am Whiteboard oder in den Aufzeichnungen eines jeden Lernenden zu sichern. Die aufgeworfenen Fragen können wie folgt formuliert werden:

- Wie nehmen die Ozeane Kohlenstoffdioxid auf?
- Wieso sind die Ozeane Kohlenstoffdioxid-Senken?
- Wie beeinflussen die Faktoren Temperatur, Salzgehalt und Luftdruck die Aufnahmefähigkeit von Kohlenstoffdioxid?
- Welche Folgen hat die globale Erwärmung auf den Kohlenstoffkreislauf?

Auf einen Blick

Einstieg in das Thema

Thema: Meere und Ozeane: Entdecken. Nutzen. Schützen

M 1 Die Ozeane in der Klimakrise

Praktische Phase (Schülerversuche)

Thema: Die Löslichkeit von CO₂ in Wasser

M 2 Die temperaturabhängige Löslichkeit von CO₂ in Wasser

M 3a Die druckabhängige Löslichkeit von CO₂ in Wasser

M 3b Die salzgehaltabhängige Löslichkeit von CO₂ in Wasser

Erarbeitung mittels Textarbeit

Thema: Die Kohlenstoffpumpen der Ozeane

M 4a Die physikalische Kohlenstoffpumpe

M 4b Die biologische Kohlenstoffpumpe

Vertiefung mittels Textarbeit und Schülerversuch

Thema: Die Versauerung der Ozeane

M 5 Die Versauerung der Ozeane

M 6 Einfluss der Ozeanversauerung auf Meereslebewesen

Lösungen und GBU

Seite 26 Lösungen

Seite 35 Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung

Die Ozeane in der Klimakrise

M 1

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat bereits für das Jahr 2016/2017 das Wissenschaftsjahr **Meere und Ozeane: Entdecken. Nutzen. Schützen** ausgerufen. Warum rücken die Weltmeere in den Fokus der Betrachtung?

Die Ozeane im Zeichen des Klimawandels

Atmosphäre und Ozean tauschen permanent Kohlenstoffdioxid aus. Man geht davon aus, dass die Ozeane etwa ein Drittel des vom Menschen ausgestoßenen Treibhausgases speichern (CO₂-Senke). Der Ozean ist also ein riesiges Kohlenstoffreservoir. Durch die zunehmenden Mengen Kohlenstoffdioxid, die der Mensch produziert, befindet sich der Kohlenstoffkreislauf heute in einem Ungleichgewicht [...].

Die Eigenschaft der Wassermassen als klimaregulierende CO₂-Senke wird verringert, was den Treibhauseffekt und die Meereserwärmung wiederum verstärkt (Ozean-CO₂-Rückkopplung). In Klimamodellen werden Szenarien berechnet, die höhere Wassertemperaturen, sich ändernde Luftdrücke, Meeresströmungen oder andere Salzkonzentrationen im Meerwasser berücksichtigen.

Aufgaben

1. **Nennen** Sie neue oder Ihnen unbekannte Begriffe. **Klären** Sie diese Begriffe im Plenum.
2. **Leiten** Sie aus den gegebenen Informationen mögliche Forscherfragen **ab**.

Die physikalische Kohlenstoffpumpe

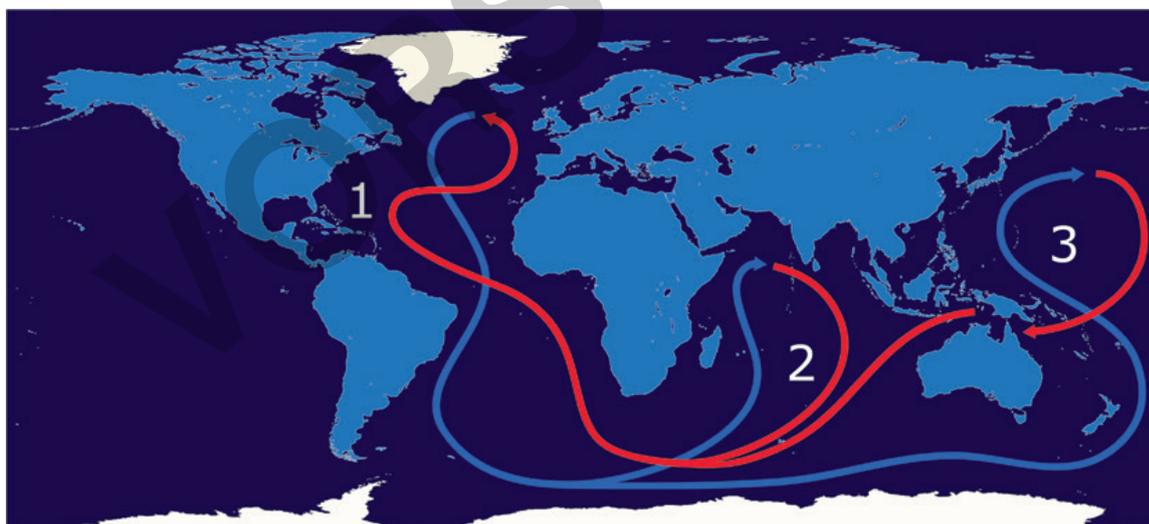
M 4a

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 darunter liegenden. 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



1. Atlantischer Ozean 2. Indischer Ozean 3. Pazifischer Ozean

Verändert nach: © aristotoo / DigitalVision Vectors / Getty Images Plus

Abbildung: Das marine Förderband
Rot: Oberflächenströmung; Blau: Tiefseeströmung

Im Südpolarmeer der Antarktis entsteht nach dem gleichem Schema eine zweite Tiefenwasserströmung (vgl. Abbildung), 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 100 Metern pro Tag braucht der Tiefenstrom ungefähr 1000 Jahre, bis er wieder an die Oberfläche kommt – solange bleibt auch Kohlenstoffdioxid in der Tiefsee gespeichert.

Thermohaline Schichtung

Die unterschiedlichen Wassertemperaturen und Salzkonzentrationen bedingen vertikal variierende Werte der Dichte (griech. thermos: warm, hals: Salz). Daher ruht das Oberflächenwasser auf der darunter liegenden Schicht, wobei der Stoffaustausch zwischen den Schichten behindert ist.

Aufgaben

1. **Markieren** und **beschreiben** Sie anhand der Abbildung die Stellen in der Weltkarte, an denen die Ozeane als CO₂-Senken und als CO₂-Quellen tätig sind.
1. **Tauschen** Sie sich mit Ihrem Partner (M 4b) **aus. Erklären** Sie sich gegenseitig Ihre Erkenntnisse zum ozeanischen Kohlenstoffkreislauf.
2. **Diskutieren** Sie die Folgen einer zunehmenden thermohalinen Schichtung der Ozeane infolge der globalen Erwärmung für den Kohlenstoffkreislauf.

