

Klimaveränderungen verstehen, heißt, komplex denken und Zusammenhänge herstellen.

Von der Löslichkeit bis zur Absorption von Wärmestrahlung:

Kohlenstoffdioxid, ein Stoff mit vielen Eigenschaften

Frank Liebner



Teachers Teaching with Technology™



Frank Liebner, frank_liebner@t-online.de
- Fachberater für Chemie an Gymnasien
- Ansprechpartner T³ Fortbildungszentrum

Geschwister-Scholl-Gymnasium Löbau
Pestalozzistraße 21, 02708 Löbau
www.gymnasium-loebau.de
t3-center@gsg-loebau.lernsax.de

Dieses und weiteres Material steht Ihnen zum pdf-Download bereit: www.t3deutschland.de sowie unter www.ti-unterrichtsmaterialien.net

Dieses Werk wurde in der Absicht erarbeitet, Lehrerinnen und Lehrern geeignete Materialien für den Unterricht in die Hand zu geben. Die Anfertigung einer notwendigen Anzahl von Fotokopien für den Einsatz in der Klasse, einer Lehrerfortbildung oder einem Seminar ist daher gestattet. Hierbei ist auf das Copyright von T³-Deutschland hinzuweisen. Jede Verwertung in anderen als den genannten oder den gesetzlich zugelassenen Fällen ist ohne schriftliche Genehmigung von T³ nicht zulässig.

Vorwort

Treibhauseffekt, Übersäuerung der Meere, Abschmelzen der Pole, ... mit vielen dieser Aussagen wurden und werden wir immer wieder durch die unterschiedlichsten Medien konfrontiert. Insbesondere die Bewegung „Fridays for future“ bezog Schüler*innen in die Diskussionen ein und fordert die Politik und Wirtschaft zum Handeln auf.

Da das Führen von fundierten Diskussionen, das Reagieren auf Probleme und bewusstes Handeln auf gesichertem Wissen erfolgen sollte, ist es notwendig, sich mit einzelnen Ursachen der Klimaveränderung auseinanderzusetzen.

Sicherlich sind Schüler*innen in der Lage zu einzelnen Phänomenen Aussagen zu treffen.

Es stellt sich aber die Frage, ob es ausreichend ist, all diese Phänomene separat zu betrachten oder ob die Notwendigkeit besteht, komplexer zu denken?

Warum ist es so schwer, konkrete Voraussagen über mögliche Veränderungen des Klimas in 10, 20 oder 50 Jahren zu machen? Warum ist es so kompliziert, Klimamodelle zu entwickeln?

Das vorliegende Material, das sich insbesondere an Schüler*innen der Klassenstufen 8 – 10 richtet, soll am Beispiel von Kohlenstoffdioxid die Vielfältigkeit der in Bezug auf die Klimaveränderung zu betrachtenden Prozesse aufzeigen.

Die Lernenden sollen einen Einblick in die Notwendigkeit des komplexen Betrachtens verschiedener Faktoren erhalten.

Das Material ist so gestaltet, dass es im projektorientierten Unterricht eingesetzt werden kann. Die Lernenden arbeiten dabei in verschiedenen Gruppen und tragen die einzelnen Ergebnisse abschließend in einer Übersicht zusammen.

Das Auswerten dieser Übersicht bietet vielfältige Diskussionsansätze und soll u. a. als Anregung für weiterführende Betrachtungen dienen.

Alle vorgeschlagenen Experimente sind auch einzeln oder in unterschiedlichen Kombinationen im regulären Unterricht nutzbar. Der Einsatz digitaler Werkzeuge zum Erfassen, Darstellen und Auswerten von Messdaten eröffnet in diesem Kontext neue experimentelle Zugänge.

Insbesondere die Nutzung des Kohlenstoffdioxidensensors schafft die Möglichkeit, bisher nur schlecht zugängige Messdaten aufzunehmen. Bei der Auswahl der Experimente wurde u. a. auch darauf geachtet, dass wenige, insbesondere ungefährlichen und preiswerte Chemikalien zum Einsatz kommen.

Bei der Zusammenstellung des Informationsmaterials für die Schüler*innen wurden vorhandene Vorkenntnisse berücksichtigt.

Es wurde auf umfangreiche wissenschaftliche Darstellungen verzichtet. Trotz vorgenommener Reduzierungen sollen wesentliche Aussagen zu den betrachteten Gesetzmäßigkeiten den Lernenden zur Verfügung gestellt werden. Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Dies ist auch aufgrund der Komplexität der betrachteten Phänomene und unter Berücksichtigung der angedachten Verwendung des Materials nicht möglich.

Spezielle Hinweise zum Einsatz des vorliegenden Materials

- Die Kohlenstoffdioxidbereitstellung erfolgt bei allen vorgeschlagenen Experimenten durch die Reaktion der Bestandteile einer Brausetablette mit Wasser in einem Gasentwickler. Als Alternative kann auch die Reaktion eines Carbonates mit einer Säurelösung im Gasentwickler genutzt werden.
Der Einsatz einer Kohlenstoffdioxidgasflasche ist ebenfalls möglich.
Es ist grundsätzlich zu beachten, dass die Einleitung des Gases in die wässrige Lösung langsam erfolgen muss.
- Für die Durchführung der Experimente zur Untersuchung der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid bei unterschiedlichen Wassertemperaturen (Experiment A) und unterschiedlichem Salzgehalt (Experiment B) wurde eine Biokammer verwendet.
Alternativ kann auch eine pneumatische Wanne oder ein anderes Gefäß, welches mit einer Folie oder anderen Materialien abgedichtet werden kann, genutzt werden.
Die bei den Experimenten verwendete Biokammer hat ein Volumen von $V = 2,5 \text{ l}$.
Die in den Musterlösungen dargestellten Graphen beziehen sich auf die Verwendung der beschriebenen Biokammer.

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass der Kohlenstoffdioxidssensor nicht mit dem Wasser in Berührung kommt.
- Sollte die Anzahl vorhandener Kohlenstoffdioxidssensoren nicht ausreichen, stehen für verschiedene Stationen Alternativexperimente zur Verfügung.
- Die Dauer des Projektes richtet sich u. a. nach der Anzahl der durch die Schülergruppen durchgeführten Experimente.
Für die Experimente A und B sind jeweils ca. 30 Minuten, für die Experimente C, D und E jeweils ca. 20 Minuten einzuplanen.
- Aus den experimentellen Ergebnissen sind keine quantitativen Ableitungen möglich.
Da es sich um Modellexperimente handelt, können lediglich Tendenzen erkannt werden.
Es wird bewusst auf die Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Löslichkeit und Partialdruck sowie auf kinetische und thermodynamische Aspekte der betrachteten Gleichgewichtsreaktionen verzichtet.
Dies könnten Ansätze für weitere Untersuchungen sein.

Zusammenstellung von Geräten und Chemikalien

Experiment A

- Gasentwickler oder eine Alternative zur Kohlenstoffdioxidbereitstellung
- Biokammer oder alternatives Gefäß mit Abdeckung
- Kohlenstoffdioxidsensor
- Thermometer
- Heizplatte zum Erhitzen von ca. 500 ml Leitungswasser
- CO₂-Sensor
- Brausetabletten *alternativ*
- Chemikalien zur Kohlenstoffdioxidentwicklung oder Kohlenstoffdioxidgasflasche
- Leitungswasser

Experiment A - Alternativexperiment

- zwei große Reagenzgläser mit seitlichem Ansatz
- Verbindungsschlauch und Stopfen
- Brenner
- Stativmaterial
- Mineralwasser mit Sprudel
- Säure-Base-Indikator: Bromthymolblau

Experiment B

- Gasentwickler oder eine Alternative zur Kohlenstoffdioxidbereitstellung
- Biokammer oder alternatives Gefäß mit Abdeckung
- Kohlenstoffdioxidsensor
- Waage (Genauigkeit $m = 1\text{ g}$)
- CO₂-Sensor
- Brausetabletten *alternativ*
- Chemikalien zur Kohlenstoffdioxidentwicklung oder Kohlenstoffdioxidgasflasche
- Leitungswasser
- Kochsalz (ca. 50 g pro Versuchsdurchführung)

Experiment B - Alternativexperiment

- zwei Reagenzgläser
- Holzspan
- Streichhölzer oder Feuerzeug
- Mineralwasser mit Sprudel
- Kochsalz

Experiment C

- Gasentwickler oder eine Alternative zur Kohlenstoffdioxidbereitstellung
- zwei Bechergläser ($V = 200\text{ ml}$)
- Leitfähigkeitssensor
- Trinkhalm oder eine entsprechende Alternative zum „Einblasen“ von Atemluft in Wasser
- Leitfähigkeitssensor
- Brausetabletten *alternativ*
- Chemikalien zur Kohlenstoffdioxidentwicklung oder Kohlenstoffdioxidgasflasche
- dest. Wasser

Experiment D

- Gasentwickler oder eine Alternative zur Kohlenstoffdioxidbereitstellung
- zwei Bechergläser ($V = 250\text{ ml}$)
- schwarzes Papier zum Auslegen der Becherglasböden
- Schreibtisch- oder Wärmelampe (60 Watt)
- zwei Temperatursensoren
- Brausetabletten *alternativ*
- Chemikalien zur Kohlenstoffdioxidentwicklung oder Kohlenstoffdioxidgasflasche

Experiment E

- Gasentwickler oder eine Alternative zur Kohlenstoffdioxidbereitstellung
- zwei Bechergläser ($V = 150 \text{ ml}$)
- pH-Sensor
- Magnetprüher
- pH-Wert-Sensor
- Brausetabletten *alternativ*
- Chemikalien zur Kohlenstoffdioxidentwicklung oder Kohlenstoffdioxidgasflasche
- Leitungswasser
- Mineralwasser mit Sprudel

Experiment E - Alternativexperiment

- Gasentwickler oder eine Alternative zur Kohlenstoffdioxidbereitstellung
- ein Becherglas ($V = 150 \text{ ml}$)
- Magnetprüher
- Brausetabletten *alternativ*
- Chemikalien zur Kohlenstoffdioxidentwicklung oder Kohlenstoffdioxidgasflasche
- Leitungswasser
- Säure-Base-Indikator: Bromthymolblau

Kohlenstoffdioxid – Verursacher des Klimawandels ?!

„Darum geht's:

Treibhausgase führen zu einer Erderwärmung.

Weniger Auto fahren, weniger heizen, weniger Fleisch essen – um dem Klimawandel entgegenzuwirken, gibt es zahlreiche Vorschläge. Die Maßnahmen werden daran gemessen, wie sehr sie den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid (CO₂) verringern.

Denn je mehr davon in der Atmosphäre ist, desto heißer wird es auf unserem Planeten. Seit der industriellen Revolution bringen die Schloten immer mehr Abgase in die Luft ein, seitdem steigt die Konzentration von CO₂ stetig an – mit Folgen für das Klima. Heute ist es schon rund ein Grad wärmer als noch Ende des 19. Jahrhunderts. Dieser Trend könnte sich weiter fortsetzen, fürchten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen.

Die Klimamodelle besagen, dass der Anstieg bis Ende des Jahrhunderts zu einer um etwa drei Grad höheren Durchschnittstemperatur führen könnte.“

<https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/so-eine-grosse-wirkung-hat-so-wenig-co2/>

Untersuchen Sie anhand von Experimenten ausgewählte Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid.

Tragen Sie die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Experimenten in der Übersicht „Kohlenstoffdioxid und Klimawandel“ zusammen.

Experimente

1 Führen Sie das Ihnen/Ihrer Gruppe zugewiesene Experiment durch.

Experiment A	Experiment B	Experiment C	Experiment D	Experiment E
Löslichkeit von CO ₂ in „kaltem“ und „warmem“ Leitungswasser	Löslichkeit von CO ₂ in Leitungswasser und Salzwasser	Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid in dest. Wasser	Erwärmen von Luft und CO ₂ im Vergleich	Veränderung des pH-Wertes durch Einleiten oder Austreiben von Kohlenstoffdioxid

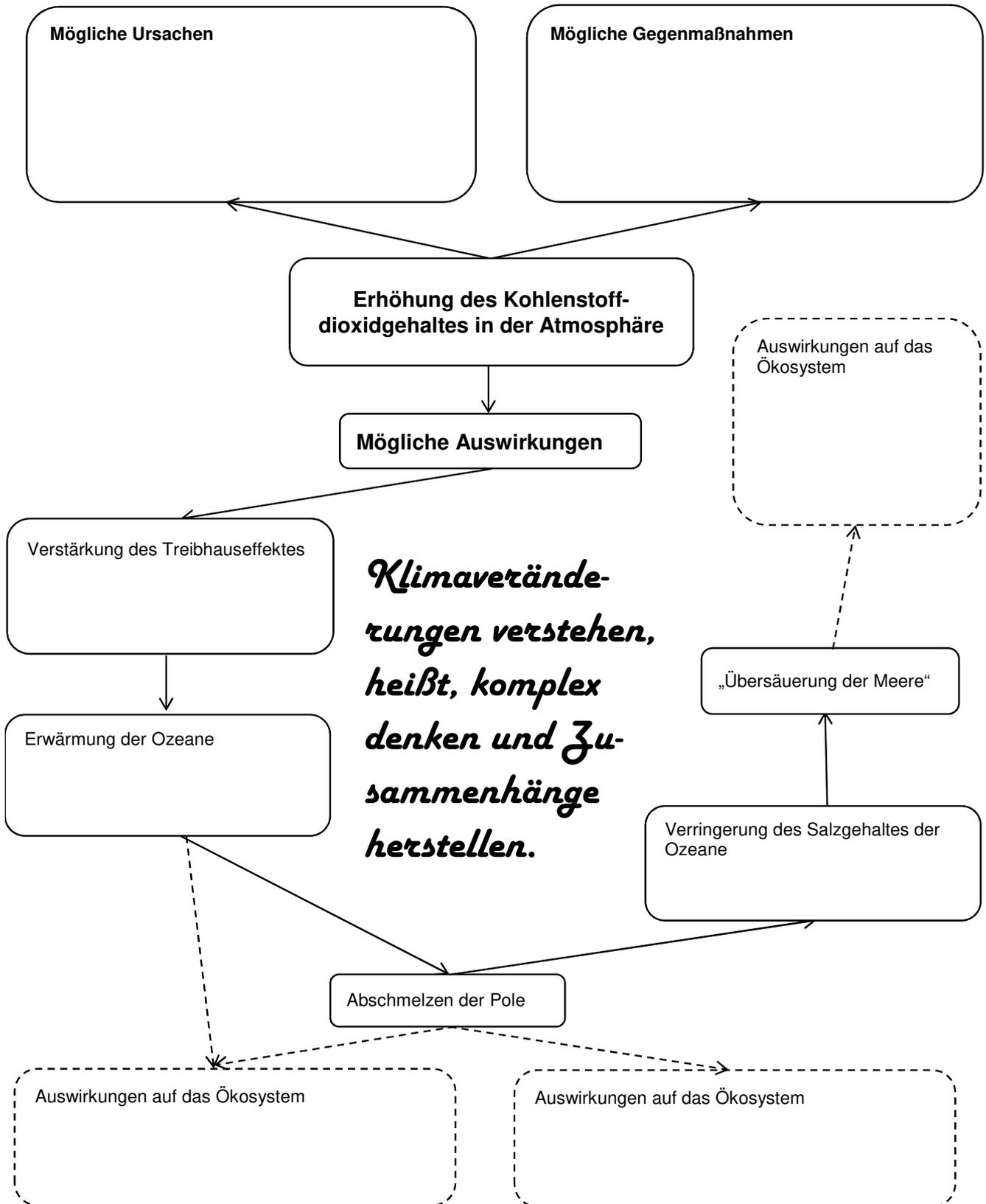
2 Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
Werten Sie das jeweilige Experiment unter Nutzung des zur Verfügung gestellten Materials aus.

3* Wechseln Sie die Gruppenmitglieder so, dass jeweils ein „Experte“ eines Experimentes in jeder Gruppe vertreten ist.
Erklären Sie den „Nichtexperten“ die Durchführung und Auswertung des von Ihnen durchgeführten Experimentes.

4 Ergänzen Sie die Übersicht „Kohlenstoffdioxid und Klimawandel“ ausgehend von Ihren Versuchsergebnissen.

5 Vergleichen Sie die Ergebnisse der einzelnen Gruppen miteinander.
Diskutieren und ergänzen Sie die erstellte Übersicht.

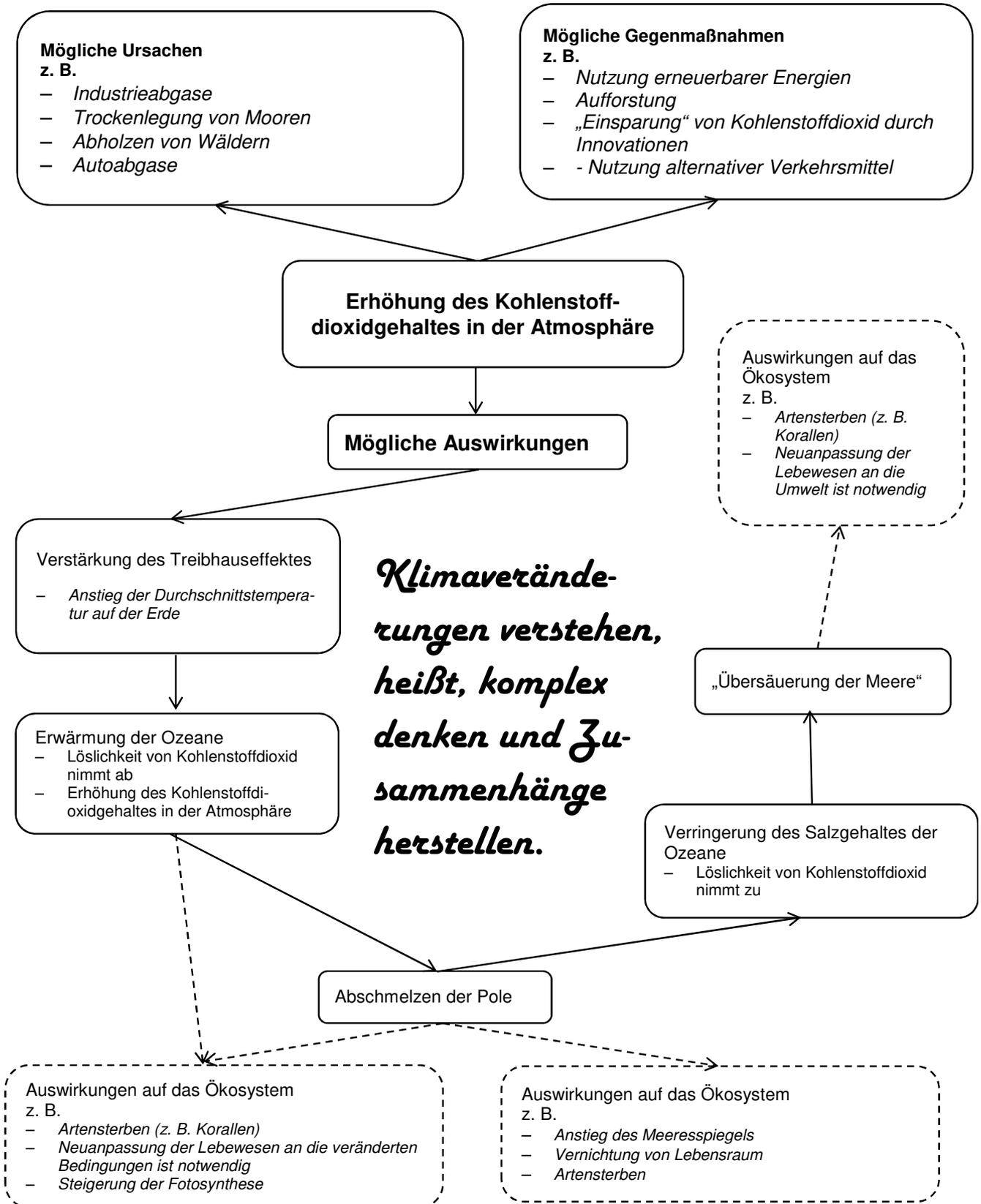
Kohlenstoffdioxid und Klimawandel



Ergänzen Sie die Übersicht. Nutzen Sie die zur Verfügung gestellten Informationsquellen und Ihre Versuchsergebnisse bezüglich der Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid.

Kohlenstoffdioxid und Klimawandel

Zusammengestellt durch Schüler*innen



Ergänzen Sie die Übersicht. Nutzen Sie die zur Verfügung gestellten Informationsquellen und Ihre Versuchsergebnisse bezüglich der Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid.

Pufferstation

Lösen Sie die nachfolgenden Aufgaben, wenn Sie mit der Durchführung und Auswertung der Experimente fertig sind.

- 1 Die Veränderung des Kohlenstoffdioxidgehalts wurde in der Messstation auf dem MAUNA LOA auf Hawaii über mehrere Jahre erfasst.
 - 1.1 Interpretieren Sie die graphische Darstellung.
 - 1.2 Geben Sie ausgehend von der graphischen Darstellung Erklärungsansätze für die Veränderung des Kohlenstoffdioxidgehaltes in der Atmosphäre an.



CO₂-Gehalt in der
Atmosphäre
Messstation MAUNA LOA

- 2 Bei der Verbrennung von Methan und anderer fossiler Brennstoffe entstehen große Mengen Kohlenstoffdioxid.

Kohlenstoffdioxid ist ein farb- und geruchloses Gas. Es ist schwerer als Luft und wirkt erstickend. Es unterhält die Verbrennung nicht und Flammen erlöschen bei Volumenkonzentrationen von 8-10% Kohlenstoffdioxid in der Luft.

Kohlenstoffdioxid, ein wichtiges Treibhausgas, ist ein natürlicher Bestandteil der Luft, wo es in sehr geringen Konzentrationen vorkommt.

CCS steht für Carbon Capture and Storage, dem unterirdischen Einlagern von Kohlenstoffdioxid, welches zuvor u. a. aus den Abgasen von Kohlekraftwerken abgeschieden wurde. Das Verfahren soll helfen, den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre zu reduzieren und somit dem voranschreitenden Klimawandel entgegen zu wirken.

Allerdings befürchten Umweltschützer, dass es durch den hohen Druck und andre Einflüsse in den Lagerstätten zur Freisetzung von CO₂ kommen kann.

Erklären Sie zwei mögliche Folgen einer umfangreichen und unkontrollierten Kohlenstoffdioxidfreisetzung aus den unterirdischen Lagerstätten. Beziehen Sie in Ihre Darlegungen auch ausgewählte Eigenschaften des Gases ein.

Experiment A Löslichkeit von CO₂ im „kalten“ und „warmen“ Leitungswasser

Untersuchen Sie die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Leitungswasser in Abhängigkeit von der Temperatur.

- 1 Das für die Untersuchung benötigte Kohlenstoffdioxid kann z. B. aus einer Brausetablette, die unter anderem feste Zitronensäure (H₃CI) und Natriumcarbonat enthält, durch Zugabe von Wasser gewonnen werden.
Entwickeln Sie für die Reaktion von Zitronensäurelösung mit Natriumcarbonat die Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise.
- 2 Führen Sie die nachfolgend beschriebenen Experimente durch.
Skizzieren oder drucken Sie die aufgenommenen Graphen.

Experiment A1

Geben Sie eine Brausetablette in den Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz. Befüllen Sie den Tropftrichter mit ca. 50 ml Wasser.

Geben Sie 500 ml Leitungswasser in die Messkammer. Bestimmen Sie die Temperatur des Wassers.

Bauen Sie die Versuchsanordnung wie in nebenstehender Skizze dargestellt zusammen.

Achten Sie darauf, dass

- das Ableitungsrohr ins Wasser taucht,
 - der CO₂-Sensor nicht mit dem Wasser in Berührung kommt und
 - die Kammer fest verschlossen ist, sodass kein Kohlenstoffdioxid entweichen kann.
- Bereiten Sie den Rechner mit angeschlossenem CO₂-Sensor zur Datenaufnahme so vor, dass alle 10 Sekunden über einen Zeitraum von 600 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Starten Sie die Messwerterfassung. Öffnen Sie nach ca. 30 Sekunden den Hahn am Tropftrichter, sodass Wasser **tropfenweise** zur Brausetablette gelangt und eine **langsame** Einleitung von Kohlenstoffdioxid in das Wasser erfolgt.

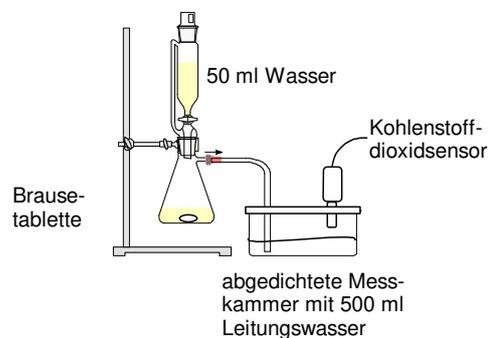
Speichern Sie die aufgenommenen Daten nach Ablauf der Messung.

Experiment A2

Erhitzen Sie 500 ml Leitungswasser auf ca. 60 °C. Bereiten Sie inzwischen die Experimentieranordnung so vor, dass Experiment A1 unter gleichen Bedingungen wiederholt werden kann. Trocknen Sie gegebenenfalls den Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz etwas aus.

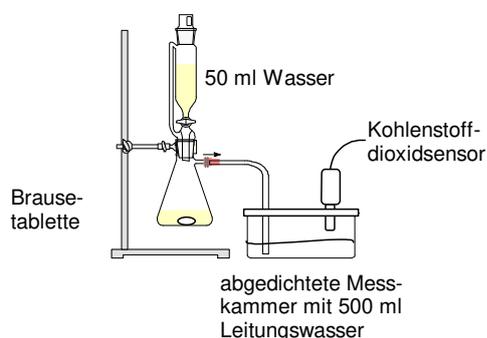
Wiederholen Sie Experiment A1 mit dem erwärmten Leitungswasser. Achten Sie darauf, dass das Einleiten von Kohlenstoffdioxid in das Wasser in vergleichbarer Geschwindigkeit (Anzahl der Gasblasen pro Zeit) zu Experiment A1 erfolgt.

- 3.1 Interpretieren Sie die graphische Darstellung.
- 3.2 Leiten Sie aus dem durchgeführten Experiment eine Aussage zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid bei verschiedenen Wassertemperaturen ab.
Überprüfen Sie diese mit dem bereitgestellten Material.



Auswertung der Experimente A

Versuchsaufbau



Hinweise zur Versuchsdurchführung

- Es ist unbedingt darauf zu achten, dass der Kohlenstoffdioxid-Sensor nicht in das Wasser eintaucht.
- Das Einleiten von Kohlenstoffdioxid in das Wasser muss mit annähernd gleicher Geschwindigkeit (Anzahl der Tropfen pro Zeiteinheit) erfolgen.

Ergebnisse von Experiment A1 und A2

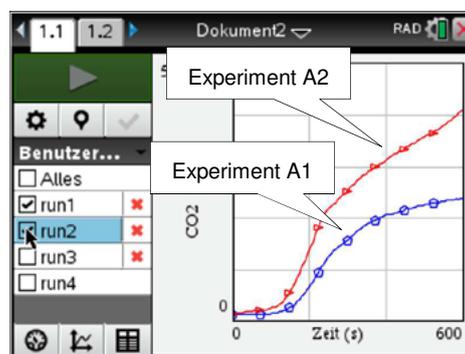
Einleiten von Kohlenstoffdioxid, hergestellt durch die Reaktion einer Brausetablette mit 50 ml Wasser, in

- 500 ml Leitungswasser $\vartheta \approx 20\text{ °C}$ (Experiment A1)

und

- 500 ml Leitungswasser $\vartheta \approx 60\text{ °C}$ (Experiment A2)

Es wurde jeweils der Kohlenstoffdioxidgehalt mittels Sensor über der Wasseroberfläche in der abgeschlossenen Kammer gemessen.



Die Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Abschnitt „Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Abhängigkeit von A) der Temperatur“ des Materials zu finden.

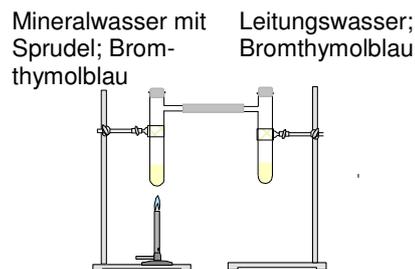
Experiment A Löslichkeit von CO₂ im „kalten“ und „warmen“ Leitungswasser

Untersuchen Sie die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Leitungswasser in Abhängigkeit von der Temperatur.

- 1 Führen Sie das nachfolgend beschriebene Experiment durch. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.

Experiment A

Bauen Sie sich die Versuchsanordnung wie in nebenstehender Skizze dargestellt mithilfe von zwei Reagenzgläsern mit seitlichem Ansatz, einem Gummischlauch und Stativmaterial auf. Befüllen Sie ein Reagenzglas bis zur Hälfte mit Sprudelwasser und das andere bis zur Hälfte mit Leitungswasser.



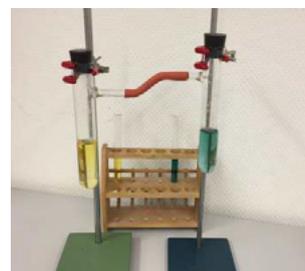
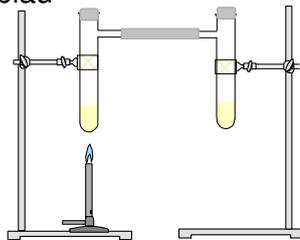
Geben Sie in jedes Reagenzglas mit seitlichem Ansatz 5 Tropfen Bromthymolblau und verschließen Sie anschließend die Reagenzgläser mit einem Stopfen. Erhitzen Sie das Reagenzglas mit dem Sprudelwasser langsam und vorsichtig. Das Experiment ist beendet, wenn sich die jeweilige Farbe des Indikators in den Reagenzgläsern deutlich ändert.

- 2 Die Farbänderung von Bromthymolblau ist auf die Änderung des pH-Wertes der Lösung zurückzuführen. Erklären Sie die pH-Wertänderung des Mineral- und Leitungswassers mithilfe der Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Wasser.
Hinweise:
 - $pH(\text{Lösung}) < 6,0$: Bromthymolblau ist gelb
 - $pH(\text{Lösung}) > 7,6$: Bromthymolblau ist blau
 - $pH\text{-Wertbereich } 6,0 < pH < 7,6$ Mischfarbe des Indikators
- 3 Leiten Sie aus dem durchgeführten Experiment eine Aussage zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid bei verschiedenen Wassertemperaturen ab. Überprüfen Sie diese mit dem bereitgestellten Material.

Auswertung der Experimente A

Versuchsaufbau

Mineralwasser mit Sprudel; Bromthymolblau Leitungswasser; Bromthymolblau



vor dem Erwärmen



nach dem Erwärmen

Hinweise zur Versuchsdurchführung

- Für einen besseren Farbvergleich können zwei Reagenzgläser, gefüllt mit Sprudelwasser oder Leitungswasser sowie jeweils 5 Tropfen Bromthymolblau, als Vergleichslösung bereitgestellt werden.

Ergebnisse von Experiment A

- 2 Der Anteil des in Wasser gelösten Kohlenstoffdioxids, der mit diesem reagiert, bedingt folgende Gleichgewichtsreaktionen:



Das Mineralwasser mit Sprudel besitzt einen pH-Wert $\text{pH} < 6,0$, da ein Teil der Kohlensäure protolysiert.

Wird das Sprudelwasser im Reagenzglas 1 erwärmt, so entweicht ein Teil des Kohlenstoffdioxids und die Gleichgewichtsreaktionen verschieben sich jeweils zugunsten der Ausgangsstoffe. Da Wasserstoff-Ionen verbraucht werden, steigt der pH-Wert der Lösung.

Im zweiten Reagenzglas erhöht sich die Konzentration an Kohlenstoffdioxid und somit kommt es zur Verschiebung der Gleichgewichte zugunsten der Reaktionsprodukte. Die Konzentration der Wasserstoff-Ionen steigt und somit sinkt der pH-Wert.

Weitere Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Abschnitt „Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Abhängigkeit von A) der Temperatur“ des Materials zu finden.

Experiment B

Löslichkeit von CO₂ in Leitungs- und Salzwasser

Untersuchen Sie die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Leitungs- und Salzwasser.

- 1 Das für die Untersuchung benötigte Kohlenstoffdioxid kann z. B. aus einer Brausetablette, die unter anderem feste Zitronensäure (H₃CI) und Natriumcarbonat enthält, durch Zugabe von Wasser gewonnen werden.
Entwickeln Sie für die Reaktion von Zitronensäurelösung mit Natriumcarbonat die Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise.
- 2 Führen Sie die nachfolgend beschriebenen Experimente durch.
Skizzieren oder drucken Sie die aufgenommenen Graphen.

Experiment B1

Geben Sie eine Brausetablette in den Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz. Befüllen Sie den Tropftrichter mit ca. 50 ml Wasser.

Geben Sie 500 ml Leitungswasser in die Messkammer. Bestimmen Sie die Temperatur des Wassers.

Bauen Sie die Versuchsanordnung wie in nebenstehender Skizze dargestellt zusammen.

Achten Sie darauf, dass

- das Ableitungsrohr ins Wasser taucht,
 - der CO₂-Sensor nicht mit dem Wasser in Berührung kommt und
 - die Kammer fest verschlossen ist, sodass kein Kohlenstoffdioxid entweichen kann.
- Bereiten Sie den Rechner mit angeschlossenem CO₂-Sensor zur Datenaufnahme so vor, dass alle 10 Sekunden über einen Zeitraum von 600 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Starten Sie die Messwerterfassung. Öffnen Sie nach ca. 30 Sekunden den Hahn am Tropftrichter, sodass Wasser **tropfenweise** zur Brausetablette gelangt und eine **langsame** Einleitung von Kohlenstoffdioxid in das Wasser erfolgt.

Speichern Sie die aufgenommenen Daten nach Ablauf der Messung.

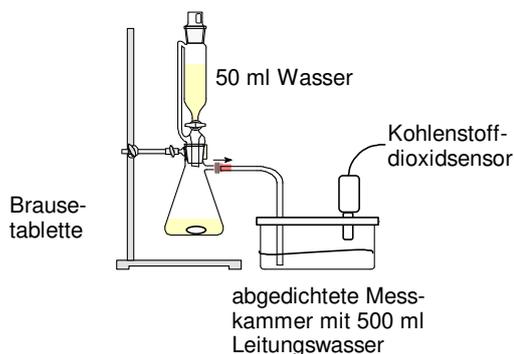
Experiment B2

Geben Sie ca. 50 g Kochsalz in 500 ml Leitungswasser.

Wiederholen Sie Experiment B1 mit dem hergestellten Salzwasser.

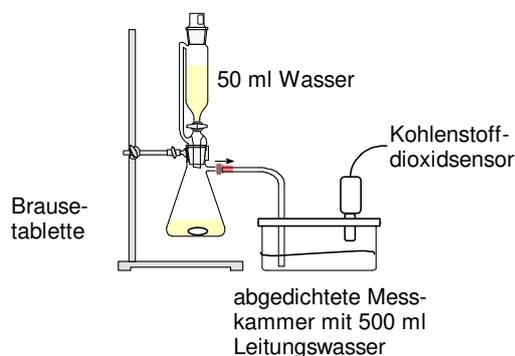
Trocknen Sie gegebenenfalls den Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz etwas aus. Achten Sie darauf, dass das Einleiten von Kohlenstoffdioxid in das Wasser in vergleichbarer Geschwindigkeit (Anzahl der Gasblasen pro Zeit) zu Experiment B1 erfolgt.

- 3.1 Interpretieren Sie die graphische Darstellung.
- 3.2 Leiten Sie aus dem durchgeführten Experiment eine Aussage zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid ab.
Überprüfen Sie diese mit dem bereitgestellten Material.



Auswertung der Experimente B

Versuchsaufbau



Hinweise zur Versuchsdurchführung

- Es ist unbedingt darauf zu achten, dass der Kohlenstoffdioxid-Sensor nicht in das Wasser eintaucht.
- Das Einleiten von Kohlenstoffdioxid in das Wasser muss mit annähernd gleicher Geschwindigkeit (Anzahl der Tropfen pro Zeiteinheit) erfolgen.

Ergebnisse von Experiment B1 und B2

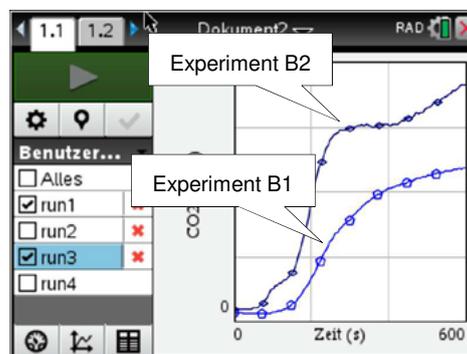
Einleiten von Kohlenstoffdioxid, hergestellt durch die Reaktion einer Brausetablette mit 50 ml Wasser, in

- 500 ml Leitungswasser
(Experiment B1)

und

- 500 ml Leitungswasser, versetzt mit ca. 50 g Kochsalz
(Experiment B2)

Es wurde jeweils der Kohlenstoffdioxidgehalt mittels Sensor über der Wasseroberfläche in der abgeschlossenen Kammer gemessen.



Die Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Abschnitt „Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Abhängigkeit von C) dem Salzgehalt“ des Materials zu finden.

Experiment B Löslichkeit von CO₂ in Abhängigkeit vom Salzgehalt

Untersuchen Sie die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Abhängigkeit vom Salzgehalt der Lösung.

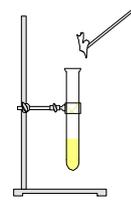
- 1 Führen Sie die nachfolgend beschriebenen Experimente durch.

Experiment B1

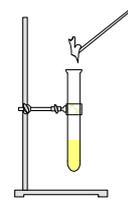
Geben Sie ca. 15 ml Mineralwasser mit Sprudel in das bereitgestellte Reagenzglas. Halten Sie einen brennenden Holzspan über die Öffnung des Reagenzglases.

Experiment B2

Wiederholen Sie Experiment B1. Versetzen Sie das Mineralwasser mit einer Prise Kochsalz bevor der brennende Holzspan über die Öffnung gehalten wird.



Mineralwasser mit Sprudel



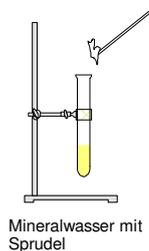
Mineralwasser mit Sprudel und Kochsalz versetzt

Hinweis: Nutzen Sie für dieses Experiment abgestandenes Mineralwasser, indem nur noch eine schwache Gasentwicklung zu erkennen ist.

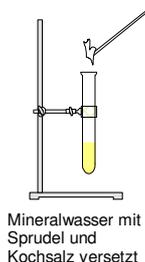
- 2 Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
- 3 Leiten Sie aus dem durchgeführten Experiment eine Aussage zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Abhängigkeit vom Salzgehalt des Wassers ab. Überprüfen Sie diese mit dem bereitgestellten Material.

Auswertung der Experimente B1 und B2

Versuchsaufbau



Mineralwasser mit Sprudel



Mineralwasser mit Sprudel und Kochsalz versetzt



ohne Salzzusatz



mit Salz

Hinweise zur Versuchsdurchführung

- Für eine eindeutige Beobachtung ist es sinnvoll, das Mineralwasser einige Minuten vor dem Experiment offen stehenzulassen. Die Gasentwicklung sollte nur noch sehr gering sein.

Ergebnisse von Experiment B

- 2 Beobachtungen:
Holzspan brennt bei der Versuchsdurchführung B1 wesentlich länger als bei dem Experiment B2.
- 3 Das schnelle Erlöschen des brennenden Holzspanes bei der Versuchsdurchführung B2 ist auf eine Anreicherung von Kohlenstoffdioxid im Reagenzglas zurückzuführen. Diese wird durch die Salzzugabe verursacht.

Weitere Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Material zu finden.

Alternativexperiment unter Nutzung eines Kohlenstoffdioxidensensors

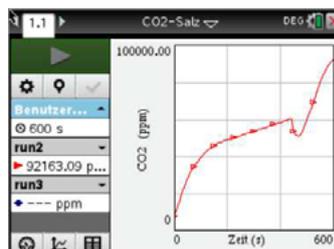
In einen Erlenmeyerkolben, der durch den Kohlenstoffdioxidensensor dicht abgeschlossen wird, werden ca. 50 ml Mineralwasser mit Sprudel gegeben. Nach dem Aufsetzen des Sensors wird eine Messwerterfassung über einen Zeitraum von mindestens 10 Minuten, bei der alle 10 Sekunden Daten erfasst werden, gestartet. Der erste Teil des Graphen zeigt die Anreicherung von Kohlenstoffdioxid oberhalb der Flüssigkeit bis zu einem bestimmten Maximalwert.

Nach einer deutlichen Abflachung des Graphen und ca. 3 Minuten vor Beendigung der Messwerterfassung wird der Kohlenstoffdioxidensensor **kurzzeitig** aus dem Erlenmeyerkolben genommen. Dem Mineralwasser wird ein Spatel Kochsalz zugesetzt und der Kolben erneut mit dem Sensor verschlossen. Der sprunghafte Anstieg des Graphen ist auf die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid aus dem Mineralwasser zurückzuführen.

Versuchsaufbau



Ergebnisse



Experiment C

Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit beim Einleiten von CO₂ in destilliertes Wasser

Untersuchen Sie die Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid in destilliertes Wasser.

- 1 Das für die Untersuchung benötigte Kohlenstoffdioxid kann z. B. aus einer Brausetablette, die unter anderem feste Zitronensäure (H₃CI) und Natriumcarbonat enthält, durch Zugabe von Wasser gewonnen werden.
Entwickeln Sie für die Reaktion von Zitronensäure mit Natriumcarbonat die Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise.
- 2 Führen Sie die nachfolgend beschriebenen Experimente durch.
Skizzieren oder drucken Sie die aufgenommenen Graphen.

Experiment C1

Geben Sie zwei Brausetabletten in den Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz. Befüllen Sie den Tropftrichter mit ca. 50 ml Wasser.

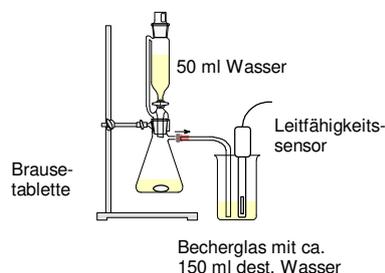
Geben Sie in ein Becherglas ca. 150 ml destilliertes Wasser.

Bauen Sie die Versuchsanordnung wie in nebenstehender Skizze dargestellt zusammen. Achten Sie darauf, dass das Ableitungsrohr und der Leitfähigkeitssensor bis kurz über den Becherglasboden in das Wasser eintauchen.

Bereiten Sie den Rechner mit angeschlossenem Leitfähigkeitssensor (Messbereich 200 µS) zur Datenaufnahme so vor, dass alle 5 Sekunden über einen Zeitraum von 300 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Starten Sie die Messwerterfassung. Öffnen Sie nach ca. 20 Sekunden den Hahn am Tropftrichter, sodass Wasser **tropfenweise** zur Brausetablette gelangt und eine **langsame** Einleitung von Kohlenstoffdioxid in das Wasser erfolgt.

Speichern Sie die aufgenommenen Daten nach Ablauf der Messung.



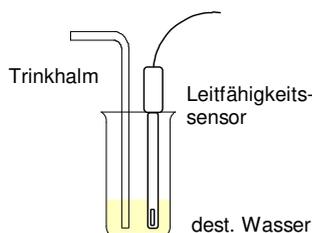
Experiment C2

Füllen Sie in einen Trinkbecher oder eine Tasse so viel dest. Wasser, dass die Messeinheit eines in dem Gefäß stehenden Leitfähigkeitssensors komplett mit Wasser bedeckt ist.

Bereiten Sie den Rechner mit angeschlossenem Leitfähigkeitssensor (Messbereich 200 µS) zur Datenaufnahme so vor, dass alle 2 Sekunden über einen Zeitraum von 120 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Starten Sie die Messwerterfassung. Blasen Sie mit einem Trinkhalm Ausatemluft in das Wasser.

Speichern Sie die aufgenommenen Daten nach Ablauf der Messung.

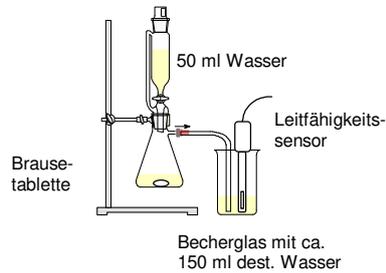


- 3.1 Interpretieren Sie die graphischen Darstellungen.
- 3.2 Erläutern Sie die Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit der Lösung beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid.
Informieren Sie sich gegebenenfalls in dem bereitgestellten Material.

Auswertung der Experimente C1 und C2

Experiment C1

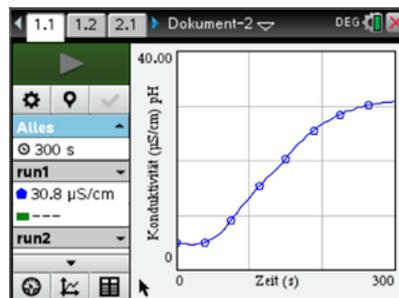
Versuchsaufbau



Hinweise zur Versuchsdurchführung

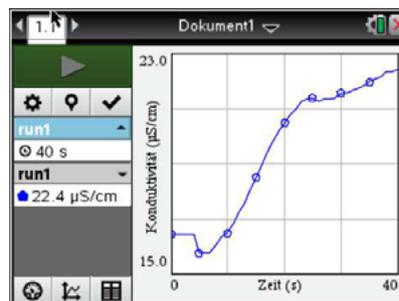
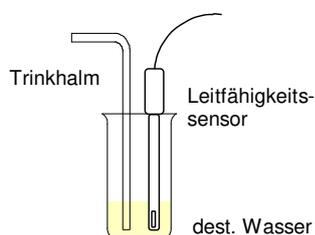
- Das Einleiten von Kohlenstoffdioxid in das destilliertes Wasser muss langsam und kontinuierlich erfolgen.

Ergebnis von Experiment C1



Ergebnis von Experiment C2

Versuchsaufbau



Die Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Abschnitt „Prinzipielle Betrachtungen zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid“ des Materials zu finden.

Experiment D

Der anthropogene Treibhauseffekt

Untersuchen Sie den Einfluss von Kohlenstoffdioxid auf die Erderwärmung.

- 1 Führen Sie das nachfolgend beschriebene Experiment durch. Skizzieren oder drucken Sie die aufgenommenen Graphen.

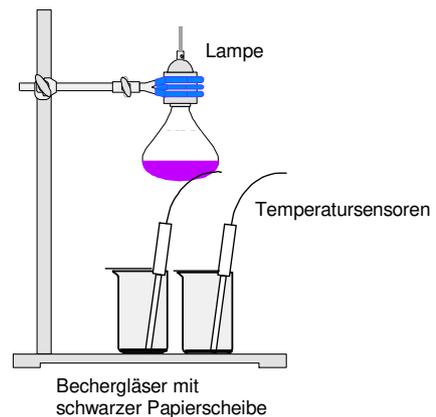
Experiment D

Stellen Sie eine Schreibtisch- oder Wärmelampe (mindestens 60 Watt), zwei Bechergläser (V = 250 ml) und zwei Uhrglasschalen oder Glasplatten zum Abdecken der Bechergläser bereit.

Schneiden Sie aus schwarzem Papier zwei Scheiben so aus, dass diese genau auf den Boden des Becherglases passen. Legen Sie die zwei Scheiben auf den Boden der Bechergläser und stellen Sie jeweils einen Temperatursensor in ein Becherglas.

Bereiten Sie eine Datenerfassung so vor, dass alle 10 Sekunden über einen Zeitraum von 400 Sekunden Messwerte aufgenommen werden.

Befüllen Sie eines der Bechergläser mit Kohlenstoffdioxid und decken Sie beide Gläser mit jeweils einer Uhrglasschale oder Glasplatte ab. Schalten Sie die Lampe ein und starten Sie die Datenaufnahme.

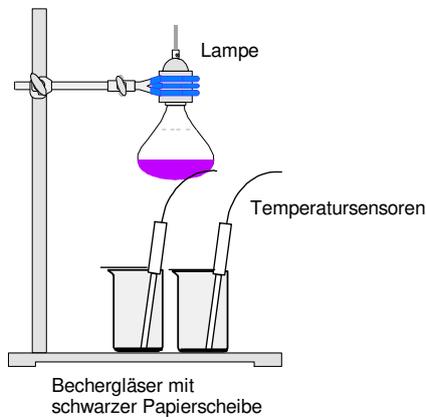


- 2 Interpretieren Sie die graphische Darstellung. Informieren Sie sich gegebenenfalls in dem bereitgestellten Material.

Dieses Experiment wurde aus dem Material
DR. H. LANGLÖTZ; F. LIEBNER; Von der Messwerterfassung bis zur Programmierung-Sensorik
mit und ohne TI-Innovator™; T³-Deutschland; 2019; entnommen.

Auswertung des Experimentes D

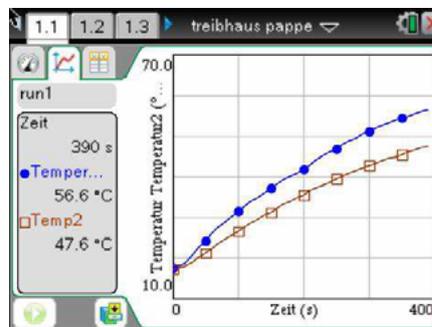
Versuchsaufbau



Hinweise zur Versuchsdurchführung

- Die Aufnahme der Messwerte kann einzeln und nacheinander erfolgen.
- Sollte ein Laptop oder TI-Nspire™ LabCradle zur Verfügung stehen, kann die Temperaturveränderung in beiden Bechergläsern gleichzeitig ermittelt werden.

Ergebnis von Experiment D



Die Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Abschnitt „Der Treibhauseffekt“ des Materials zu finden.

Dieses Experiment wurde aus dem Material Dr. H. LANGLOTZ; F. LIEBNER; Von der Messwerterfassung bis zur Programmierung-Sensorik mit und ohne TI-Innovator™; T³-Deutschland; 2019 entnommen.

Experiment E Einleiten von Kohlenstoffdioxid in Leitungswasser

Untersuchen Sie die pH-Wertänderung beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid in Leitungswasser.

- 1 Das für die Untersuchung benötigte Kohlenstoffdioxid kann z. B. aus einer Brausetablette, die unter anderem feste Zitronensäure (H_3Ci) und Natriumcarbonat enthält, durch Zugabe von Wasser gewonnen werden.
Entwickeln Sie für die Reaktion von Zitronensäurelösung mit Natriumcarbonat die Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise.
- 2 Führen Sie die nachfolgend beschriebenen Experimente durch.
Skizzieren oder drucken Sie die aufgenommenen Graphen.

Experiment E1

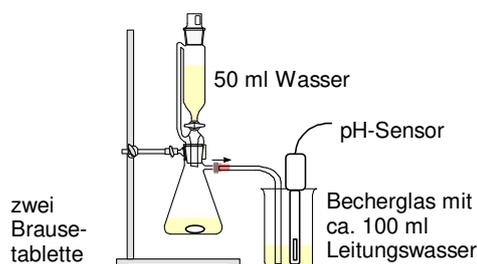
Geben Sie zwei Brausetablette in den Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz. Befüllen Sie den Tropftrichter mit ca. 50 ml Wasser.

Geben Sie in ein Becherglas ca. 100 ml Leitungswasser. Bauen Sie die Versuchsanordnung wie in nebenstehender Skizze dargestellt auf. Achten Sie darauf, dass das Ableitungsrohr ins Wasser taucht.

Bereiten Sie eine Datenaufnahme so vor, dass alle 5 Sekunden über einen Zeitraum von 300 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Starten Sie die Messwerterfassung. Öffnen Sie nach ca. 10 Sekunden den Hahn am Tropftrichter, sodass Wasser **tropfenweise** zur Brausetablette gelangt und eine **langsame** Einleitung von Kohlenstoffdioxid in das Wasser erfolgt.

Speichern Sie die aufgenommenen Daten nach Ablauf der Messung.

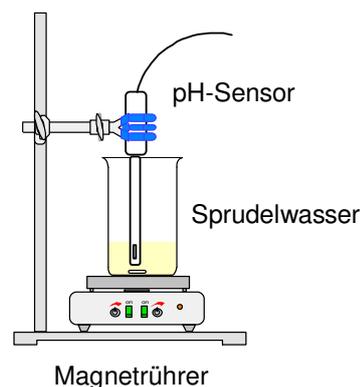


Experiment E2

Füllen Sie in ein Becherglas ($V = 150$ ml) so viel Sprudelwasser, dass ein kräftiges Rühren mit einem Rührfisch möglich ist. Beachten Sie, dass die Messeinheit des pH-Sensors vollständig in das Wasser tauchen muss und vom Rührfisch nicht beschädigt werden darf.

Bereiten Sie eine Datenaufnahme so vor, dass alle 5 Sekunden über einen Zeitraum von 600 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Stellen Sie den Magnetrührer auf volle Drehzahl und beginnen Sie nach ca. 20 Sekunden mit der Messwerterfassung.



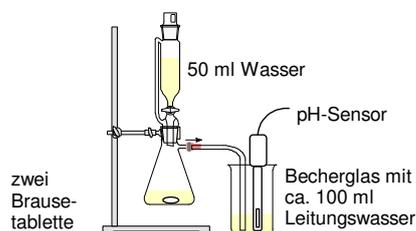
- 3.1 Interpretieren Sie die graphische Darstellung.
- 3.2 Erläutern Sie die Veränderungen der pH-Werte während der durchgeführten Experimente.

Experiment E2 wurde aus dem Material F. LIEBNER; Naturwissenschaftlichen Phänomenen auf der Spur; T³-Deutschland; 2011 entnommen.

Auswertung der Experimente E1 und E2

Experiment E1

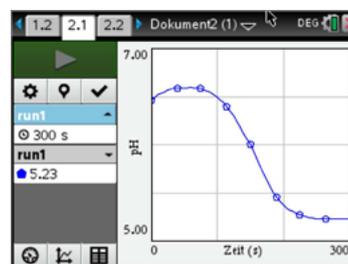
Versuchsaufbau



Hinweise zur Versuchsdurchführung

- Das Einleiten von Kohlenstoffdioxid in das Leitungswasser muss langsam und kontinuierlich erfolgen.

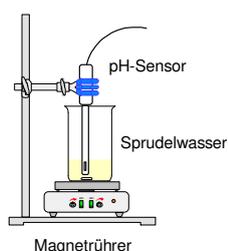
Ergebnisse



Die Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Abschnitt „Prinzipielle Betrachtungen zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid“ des Materials zu finden.

Experiment E2

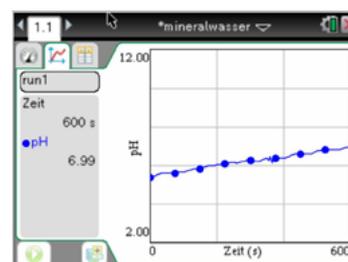
Versuchsaufbau



Hinweise zur Versuchsdurchführung

- Die pH-Wertänderung ist u. a. auch Abhängig von der Rührgeschwindigkeit. Bei höherer Rührgeschwindigkeit ist ein schnellerer pH-Wertanstieg zu verzeichnen.

Ergebnisse



Die Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Abschnitt „Prinzipielle Betrachtungen zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid“ des Materials zu finden.

Experiment E Einleiten von Kohlenstoffdioxid in Leitungswasser

Untersuchen Sie die pH-Wertänderung beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid in Leitungswasser..

- 1 Das für die Untersuchung benötigte Kohlenstoffdioxid kann z. B. aus einer Brausetablette, die unter anderem feste Zitronensäure (H_3Ci) und Natriumcarbonat enthält, durch Zugabe von Wasser gewonnen werden.
Entwickeln Sie für die Reaktion von Zitronensäurelösung mit Natriumcarbonat die Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise.

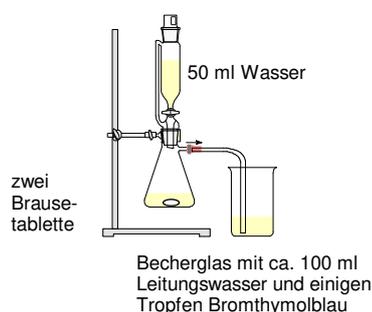
Experiment E

Geben Sie zwei Brausetablette in den Erlenmeyerkolben mit seitlichem Ansatz. Befüllen Sie den Tropftrichter mit ca. 50 ml Wasser.

Geben Sie in ein Becherglas ca. 100 ml Leitungswasser und einige Tropfen Bromthymolblau. Bauen Sie die Versuchsaapparatur wie in nebenstehender Skizze dargestellt auf.

Achten Sie darauf, dass das Ableitungsrohr ins Wasser taucht.

Öffnen Sie den Hahn am Tropftrichter, sodass Wasser **tropfenweise** zur Brausetablette gelangt und eine **langsame** Einleitung von Kohlenstoffdioxid in das Wasser erfolgt.



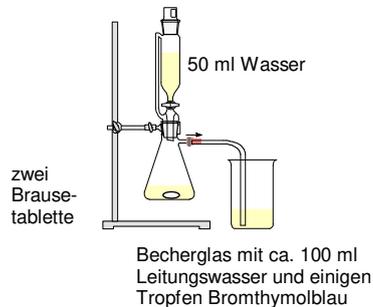
- 2 Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
- 3 Erklären Sie die pH-Wertänderung des Leitungswassers mithilfe der Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Wasser.

Hinweise:

- Die Farbänderung von Bromthymolblau ist auf die Änderung des pH-Wertes der Lösung zurückzuführen.
- $pH(\text{Lösung}) < 6,0$: Bromthymolblau ist gelb
- $pH(\text{Lösung}) > 7,6$: Bromthymolblau ist blau
- pH-Wertbereich $6,0 < pH < 7,6$: Mischfarbe des Indikators

Auswertung der Experimente E

Versuchsaufbau



vor dem Einleiten



nach dem Einleiten

Hinweise zur Versuchsdurchführung

- Mithilfe eines Magnetrührers kann das Leitungswasser mit dem Indikator während des Einleitens von Kohlenstoffdioxid **langsam** gerührt werden.

Ergebnisse von Experiment E

- 2 Beobachtungen:
 - Gasblasen werden in das Leitungswasser eingeleitet.
 - Grün- bzw. Gelbfärbung des Indikators
- 3 Durch das Einleiten von Kohlenstoffdioxid in das Leitungswasser laufen nachfolgende Reaktionen ab.
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$$
$$\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$$
Die Bildung von Wasserstoff-Ionen hat ein Absenken des pH-Wertes zur Folge.

Weitere Erklärungen der Versuchsergebnisse sind im Material zu finden.

Material

Gibt man „Kohlenstoffdioxid“ als Suchbegriff bei Google ein, so erhält man rund eine halbe Millionen Beitragsangebote (Juni 2020). Diese beinhalten u. a. Eigenschaften und Verwendungen von Kohlenstoffdioxid, Erklärungen zum Bau des Moleküls, seiner chemischen Reaktionen und Berichte über Unfälle und Naturkatastrophen.

Eine große Anzahl von Artikeln bezieht sich auch auf Kohlenstoffdioxid als Verursacher der Klimaerwärmung. In diesen geht es u. a. um die Ursachen, um Auswirkungen und um Maßnahmen zur Einschränkung der Erderwärmung.

Eine Anreicherung von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre verursacht u. a. auch eine Veränderung der Wasserqualität von Ozeanen und Meeren, da sich ein Teil des Gases in den Gewässern unserer Erde löst.

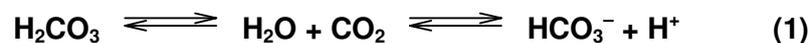
Prinzipielle Betrachtungen zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid

Kohlenstoffdioxid ist gut in Wasser löslich. Bei Normaldruck ($p = 0,1 \text{ MPa}$) und einer Temperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ lösen sich $0,9 \text{ Liter}$ des Gases in einem Liter Wasser.

Betrachtet man die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser genauer, so stellt man fest, dass nur ca. $0,2 \%$ des in Wasser gelösten Gases mit diesem reagieren und der überwiegende Teil des Kohlenstoffdioxids physikalisch gelöst ist.

Der Anteil an in Wasser gelöstem Kohlenstoffdioxid ist von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängig. Auch wenn nur einzelne dieser Parameter untersucht werden, ist es wichtig, diese möglichst im Zusammenhang zu betrachten.

Leitungswasser besitzt in der Regel einen pH-Wert von $\text{pH} \approx 7$. Dieser pH-Wert wird u. a. auch durch das nachfolgende chemische Gleichgewichte bestimmt:



Dieses Gleichgewicht wird wiederum durch die unterschiedlichen Ionen im Wasser beeinflusst.

Spricht man in der Chemie von Gleichgewichtsreaktionen oder dem Chemischen Gleichgewicht, so sind chemische Reaktionen gemeint, die umkehrbar sind, unvollständig ablaufen und bei denen somit Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte in bestimmten Verhältnissen gleichzeitig vorliegen.

Ausgangsstoffe reagieren zu Reaktionsprodukten (Hinreaktion) und Reaktionsprodukte können wiederum zu Ausgangsstoffen (Rückreaktion) reagieren.

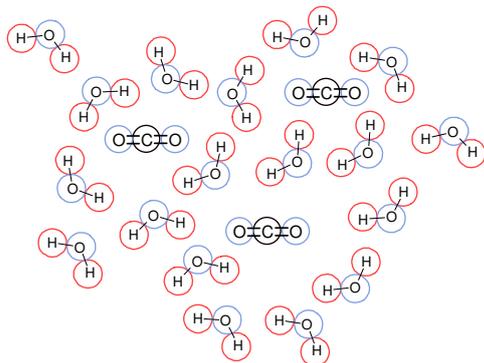
Das Verhältnis von Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten kann durch äußere Faktoren wie z. B. Temperatur, Druck oder dem Vorhandensein weiterer Ionen in wässrigen Lösungen beeinflusst werden.

So ist beispielsweise die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in destilliertem Wasser, welches nur sehr wenige Ionen enthält, etwas größer als im Leitungswasser. Dies hat zur Folge, dass dest. Wasser häufig einen pH-Wert von $\text{pH} < 7$ besitzt.

Was passiert, wenn man die begrenzte Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser nicht beachtet, zeigen vereinzelte Naturkatastrophen wie z. B. der „Kohlenstoffdioxidausbruch“ im Jahr 1986 am NYOS-See.

Durch einen Erdbeben wurden große Mengen des Gases aus einer Magmakammer in das Seewasser freigesetzt. Da dieses bereits mit Kohlenstoffdioxid gesättigt war, gelangte das Gas in die Atmosphäre und tötete viele Einwohner und deren Tiere, die in der Nähe des Sees lebten.

Physikalisch gelöstes Kohlenstoffdioxid



Kohlenstoffdioxidmoleküle diffundieren in das Wasser und werden von Wassermolekülen umlagert, ohne dass die Teilchen miteinander reagieren.

Wird Kohlenstoffdioxid in Wasser eingeleitet, so werden Eigenschaften des Wassers beeinflusst.

Dies ist u. a. an der Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes zu erkennen (Reaktionen (2) und (3)).

Es ist zu beachten, dass im Wasser weitere Ionen enthalten sind und sich daraus resultierende chemische Gleichgewichte ergeben, die den Lösevorgang von Kohlenstoffdioxid beeinflussen bzw. werden diese Gleichgewichte von dem eingeleiteten Kohlenstoffdioxid verändert.

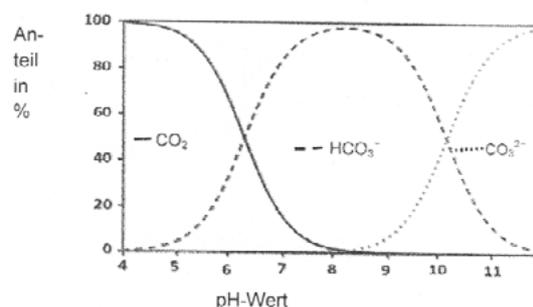
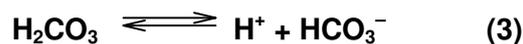
Zwischen dem in der Atmosphäre vorhandenen, dem in Wasser physikalisch gelöst und den in Wasser enthaltenen anorganischen Kohlenstoffverbindungen wie Carbonat- und Hydrogencarbonat-Ionen stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein.

Der pH-Wert von Wasser wird u. a. durch die Menge an gelöstem Kohlenstoffdioxid bestimmt.

Weitere Faktoren, die Einfluss auf den pH-Wert des Wassers haben, bestimmen ebenfalls das Verhältnis der genannten Ionen zueinander.

Reaktionen von Kohlenstoffdioxid mit Wasser

Kohlenstoffdioxid reagiert mit Wasser in einer sehr langsamen Reaktion zur instabilen Kohlensäure (2). Diese zerfällt in einer sehr schnellen Reaktion in Wasserstoff- und Hydrogencarbonat-Ionen (3).



pH-Wertabhängigkeit des Kohlenstoffdioxid, Hydrogencarbonat- und Carbonatgleichgewichtes in wässriger Lösung
Werte nach: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-17813-9_3

Wird Kohlenstoffdioxid in Wasser gelöst, so verringert sich der pH-Wert der Lösung, da die Gleichgewichtsreaktionen (2) und (3) jeweils zugunsten der Reaktionsprodukte verschoben werden.

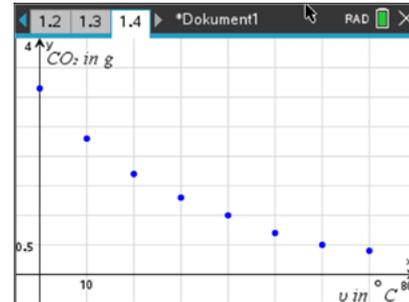
Treibt man dagegen Kohlenstoffdioxid aus z. B. Mineralwasser aus, so steigt dessen pH-Wert, da sich die Gleichgewichtsreaktionen (2) und (3) jeweils zu den Ausgangsstoffen verschieben und somit die Konzentration an Wasserstoff-Ionen sinkt.

Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Abhängigkeit von u. a.

A) der Temperatur

Bei einer Wassertemperatur von $\vartheta = 20\text{ °C}$ und einem Druck von $p = 0,1\text{ MPa}$ lösen sich etwa $1,7\text{ g}$ ($0,9\text{ l}$) Kohlenstoffdioxid in einem Liter Wasser. Die Löslichkeit dieses Gases ist stark von der Temperatur abhängig.

Bei einer Temperaturerhöhung des Wassers bewegen sich die Teilchen schneller und ungeordneter. Physikalisch gelöstes Kohlenstoffdioxid kann somit aus dem Wasser entweichen. Damit verschieben sich die Gleichgewichtsreaktionen (2) und (3) zugunsten der jeweiligen Ausgangsstoffe. Dies hat zur Folge, dass die Konzentration der Wasserstoff-Ionen abnimmt und somit der pH-Wert des Wassers zunimmt.

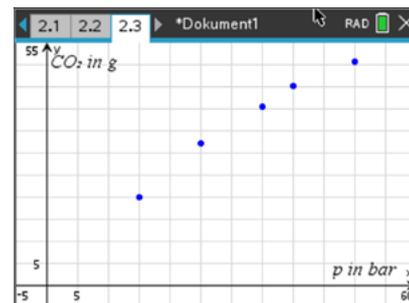


Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in g pro Liter Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur bei $p = 1\text{ bar}$

B) dem Druck

Erhöht sich der Anteil und damit der Partialdruck von Kohlenstoffdioxid oberhalb der Wasseroberfläche, so löst sich innerhalb bestimmter Grenzen mehr Kohlenstoffdioxid in Wasser. Dies hat zur Folge, dass sich die Gleichgewichtsreaktionen (1) und (2) jeweils zugunsten der Reaktionsprodukte verschieben und somit der pH-Wert des Wassers sinkt.

Wird neben der Erhöhung des Kohlenstoffdioxidanteils auch der Gesamtdruck oberhalb der Lösung vergrößert, so erhöht sich die Löslichkeit des Kohlenstoffdioxids mit allen beschriebenen Folgereaktionen.



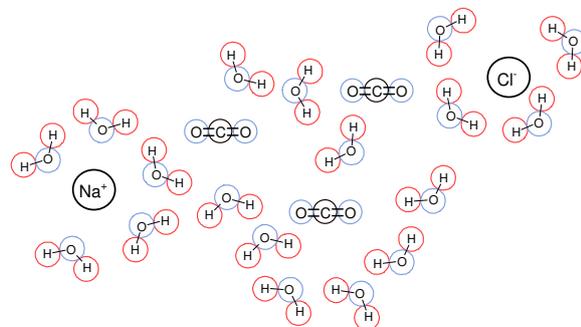
Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in g pro 1 Liter Wasser in Abhängigkeit vom Druck bei einer Temperatur von $\vartheta = 20\text{ °C}$

C) dem Salzgehalt

Die in Salzwasser enthaltenen Ionen sind von Wassermolekülen umlagert (hydratisiert).

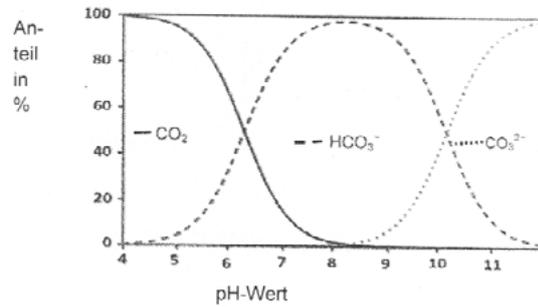
Dadurch kommt es zu einer „Neuordnung“ der Wassermoleküle untereinander.

Die Umlagerung der Kohlenstoffdioxid durch Wassermoleküle wird teilweise aufgehoben, sodass das physikalisch gelöste Kohlenstoffdioxid aus dem Wasser entweichen kann.



D) dem pH-Wert

Der pH-Wert von Wasser wird nicht nur von dem gelösten Kohlenstoffdioxid bestimmt. Viele weitere Faktoren tragen dazu bei, dass sich ein bestimmter pH-Wert einstellt. Allerdings besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem pH-Wert, dem Anteil an Kohlenstoffdioxid und dem Verhältnis an Hydrogencarbonat- und Carbonat-Ionen (siehe Gleichungen (2) und (3)).



pH-Wertabhängigkeit des Kohlenstoffdioxid, Hydrogencarbonat- und Carbonatgleichgewichtes in wässriger Lösung

Werte nach: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-17813-9_3

Der Treibhauseffekt

Die von der Sonne ausgehende kurzwellige Strahlung gelangt durch die Erdatmosphäre auf die Erdoberfläche. Dabei „passiert“ die Strahlung die in der Atmosphäre enthaltenen Gase wie z. B. Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff und Ozon.

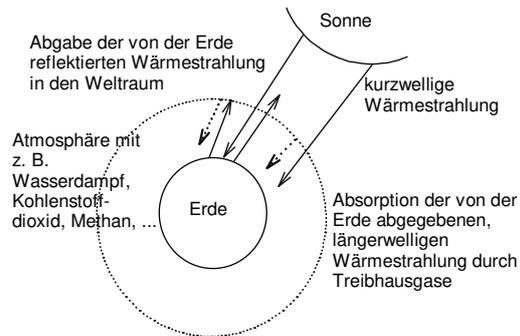
Die erwärmte Erdoberfläche gibt längerwellige Strahlung an die Atmosphäre ab. Ein Teil dieser Strahlung wird von den Treibhausgasen absorbiert. Damit kann keine Abgabe der Wärmestrahlung in den Weltraum erfolgen. Dadurch kommt es zur Erderwärmung.

Dadurch kommt es zur Erderwärmung.

Gase, die die längerwellige Wärmestrahlung von der Erdoberfläche teilweise absorbieren, nennt man Treibhausgase.

Das wichtigste natürliche Treibhausgas ist Wasserdampf, welches hauptsächlich für den natürlichen Treibhauseffekt, ohne den kein Leben auf der Erde möglich wäre, verantwortlich ist.

Kommt es zur Anreicherung der in der Atmosphäre enthaltenen Spurengase wie Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid, wird der natürliche Treibhauseffekt gestört, was bedeutet, dass es langfristig zu einer Erderwärmung kommt.





T³ Teachers Teaching with Technology



Netzwerk

Das T³ Lehrerfortbildungnetzwerk richtet sich an Sie, an Lehrerinnen und Lehrer, die sich zum sinnvollen Einsatz digitaler Werkzeuge im MINT-Unterricht austauschen und weiterentwickeln wollen. T³ Deutschland ist Teil des internationalen T³ Netzwerks.

Fortbildungen

T³ Deutschland bietet Ihnen pädagogisch-didaktische Unterstützung in Form von schulinternen Fortbildungen, Online-Seminaren und Tagungen an.

Materialien

Aufgabenbeispiele, Tutorials, Videos und mehr nützliche Materialien für Ihren MINT-Unterricht stellen wir auf der Materialdatenbank kostenlos zur Verfügung.

→ Der **T³ EduBlog** bietet exklusive Interviews, inspirierende Erfahrungsberichte und mehr

Informieren Sie sich. Machen Sie mit!

Nehmen Sie Kontakt zu uns auf unter:

www.t3deutschland.de | info@t3deutschland.de

Abonnieren
Sie unseren
Newsletter!



@T3Europe



T3 Europe

TI-Nspire™ CX CAS Technologie

Ob Handheld, Software (Win/Mac) oder Tablet (Win/iPad) - alle Produkte sind einzeln oder als integrierte Lösung einsetzbar. Passendes Zubehör unterstützt den fächerübergreifenden Einsatz in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT).

www.tinspirecas.de



Praxisorientierte Unterrichtsmaterialien

Nützliche Aufgabenbeispiele für Ihren Unterricht, kostenlose Downloads und Hinweise auf Verlagspublikationen finden Sie auf der TI Materialdatenbank, auch ganz speziell zur TI-Nspire™ CX Technologie.

Schauen Sie mal rein:

TI Materialdatenbank: www.ti-unterrichtsmaterialien.net

- » Nutzen Sie beispielsweise unser kostenloses Ausleihprogramm!
- » Ausführliche Produkt- und Serviceinformationen sowie Bezugsquellen finden Sie auf unseren TI Webseiten education.ti.com/de
- » Die TI Schulberater unterstützen Sie gerne bei allen Fragen rund um den Einsatz von TI Rechnern im Unterricht: schulberater-team@ti.com

Abonnieren
Sie unseren
Newsletter!



www.youtube.com/TIedtechDE



[education.ti.deutschland](https://www.facebook.com/education.ti.deutschland)



[@TIEducationDE](https://twitter.com/TIEducationDE)



www.t3deutschland.de

education.ti.com



Teachers Teaching with Technology™

