Wie kommt das Loch in den Kalkboden?

CO_2 in Atmosphäre und Lithosphäre – Teile des natürlichen Kalkkreislaufs

M1 - Verwitterung von Kalkgestein

Kalkgesteine sind vor Jahrmillionen als Sedimentgestein aus Schalen und Skeletten von im Meer lebender Organismen entstanden. Durch die Plattentektonik gelangten sie an die Oberfläche und sind heute Teil von Gebirgen wie den Kalkalpen.

In regenreichen Gebieten sind diese Kalkgesteine oft von Löchern an der Oberfläche (s. Abb. 1) und darunter liegenden Höhlensystemen durchzogen. Dies gilt insbesondere, wenn die Kalkschichten von mikroorganismenhaltigen und damit kohlenstoffdioxidreichen Bodenschichten bedeckt sind.



Abb. 1: „Doline“ im „Gottesacker“, Kleinwalsertal

Dabei ist Kalk (Calciumcarbonat, $CaCO_3$) in Wasser nahezu unlöslich. Festes Calciumcarbonat und gelöstes Calciumhydrogencarbonat stehen aber in einem Gleichgewicht miteinander:

$$Ca^{2+}{}_{(aq)} + 2\,HCO_3^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons CaCO_{3\,(s)} + H_2O_{(l)} \uparrow + CO_{2\,(g)} \uparrow$$

Der Anteil von Carbonat- zu Hydrogencarbonat-Ionen in der Lösung hängt vom pH-Wert ab (s. M3). Aus der Lösung von Hydrogencarbonat (HCO_3^-) lässt sich im Übrigen nie Calciumhydrogencarbonat als Feststoff ausfällen. Beim Eindampfen entsteht stets Calciumcarbonat.

Aufgabenstellung

1. Fassen Sie die an der Verwitterung von Kalk beteiligte Faktoren zusammen (M1, Vorwissen).
2. Zeigen Sie experimentell mit V1, dass sich in Calciumhydroxid-Lösungen (alkalisch, sehr hoher pH-Wert) bei Zugabe von Kohlenstoffdioxid zunächst Carbonat-Ionen bilden, aus denen fester Kalk entsteht.
3. Prüfen Sie mit V2, ob die Zugabe von weiterem Kohlenstoffdioxid für die Entstehung der o. g. Löcher verantwortlich sein kann.
4. Werten Sie die Experimente aus. Erläutern Sie unter Verwendung von Reaktionsgleichungen die Entstehung der Löchern im festem Kalkgestein.

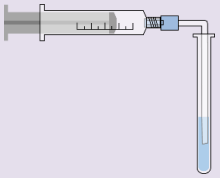
V1 und V2 - Hinweise zu möglichen Experimenten

Material

- Schutzbrille
- 1 Spritze (30 mL)
- Reagenzglas samt Halter
- Schlauch

Chemikalien

- Calciumhydroxid-Lösung ($Ca^{2+}{}_{(aq)} + 2OH^-{}_{(aq)}$)
- Universalindikator (Unisol 1-13)
- Kohlenstoffdioxid aus Spender



Aufbau:

Sicherheitshinweise: Schutzbrille tragen, Kalkwasser reizt die Haut und verursacht schwere Augenreizungen. Kohlenstoffdioxid nicht direkt aus dem Spender in das Kalkwasser einleiten, sondern zunächst abfüllen, um ein Herausspritzen des Kalkwassers zu vermeiden. Reste über den Abguss entsorgen.

V1: Entstehung von fein verteiltem Kalk

3 Tropfen Universalindikator und 10 mL Calciumhydroxid-Lösung werden in ein Reagenzglas gegeben.

Aus der Spritze werden über den Schlauch wenige Milliliter Kohlenstoffdioxid hinzugefügt bis sich gerade ein Niederschlag bildet.

V2: Modellexperiment zur Verwitterung von Kalk

In die Flüssigkeit mit dem feinverteilten Kalk und dem Indikator wird nun durch schrittweise Zugabe von Kohlenstoffdioxid geprüft, ob sich der pH-Wert verändert und der Niederschlag wieder auflöst.

Gregor von Borstel im Team LNCU für Sinus/QUA-LiS NRW, 2019. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.

Wie kommt das Loch in den Kalkboden?

CO_2 in Atmosphäre und Lithosphäre – Teile des natürlichen Kalkkreislaufs

M3 Zusatzinformationen:

Bisher sind wir immer davon ausgegangen, dass beim Lösen von Kohlenstoffdioxid in Wasser Kohlenstoffdioxid, Hydrogencarbonat und Carbonat-Ionen gleichermaßen vorliegen

$$CO_{2(g)} \overset{H_2O}{\leftrightarrows} CO_{2(aq)} \,|exotherm$$

$$CO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows H_2CO_{3(aq)}$$

$$H_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows HCO_3^-{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$$

$$HCO_3^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$$

In Wahrheit hängt die Lage der Gleichgewichte aber stark von der Konzentration der Oxonium-Ionen (H_3O^+) und damit vom pH-Wert ab.

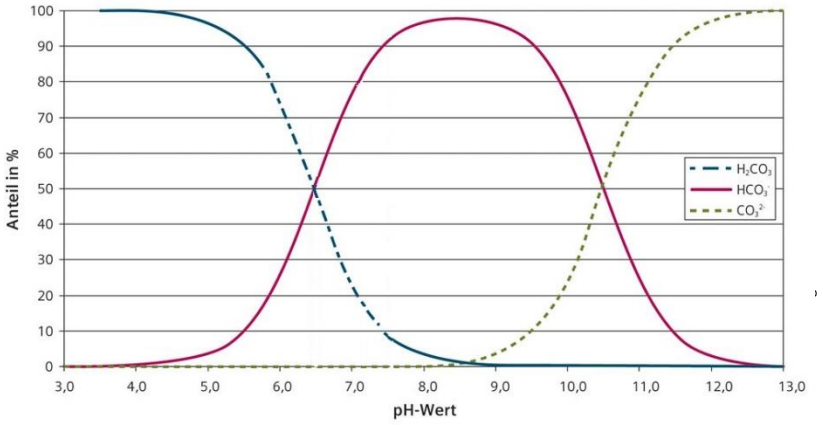
Aufgaben zum Weiterdenken

In Gegenden mit Kalkgesteinen gibt es viele Mineralwasserquellen, die reich an Calcium-Ionen sind. Allerdings enthalten sie wenig bis gar kein Carbonat, wie das Beispiel-Etikett rechts zeigt, dafür aber viel Hydrogencarbonat.

In Gegenden mit kalkhaltigen Böden kann es bei der Verwendung des dort gewonnenen Trinkwassers im Haushalt zu Kalkablagerungen in Heißwasserkochern kommen.

a) Erläutern Sie diese beiden o. g. Tatsachen.

b) Planen Sie ggf. ein Experiment, mit dem sich der letztgenannte Effekt zeigen lässt.



Sprudler

S P O R T

Natürliches Wasser mit Kohlensäure versetzt

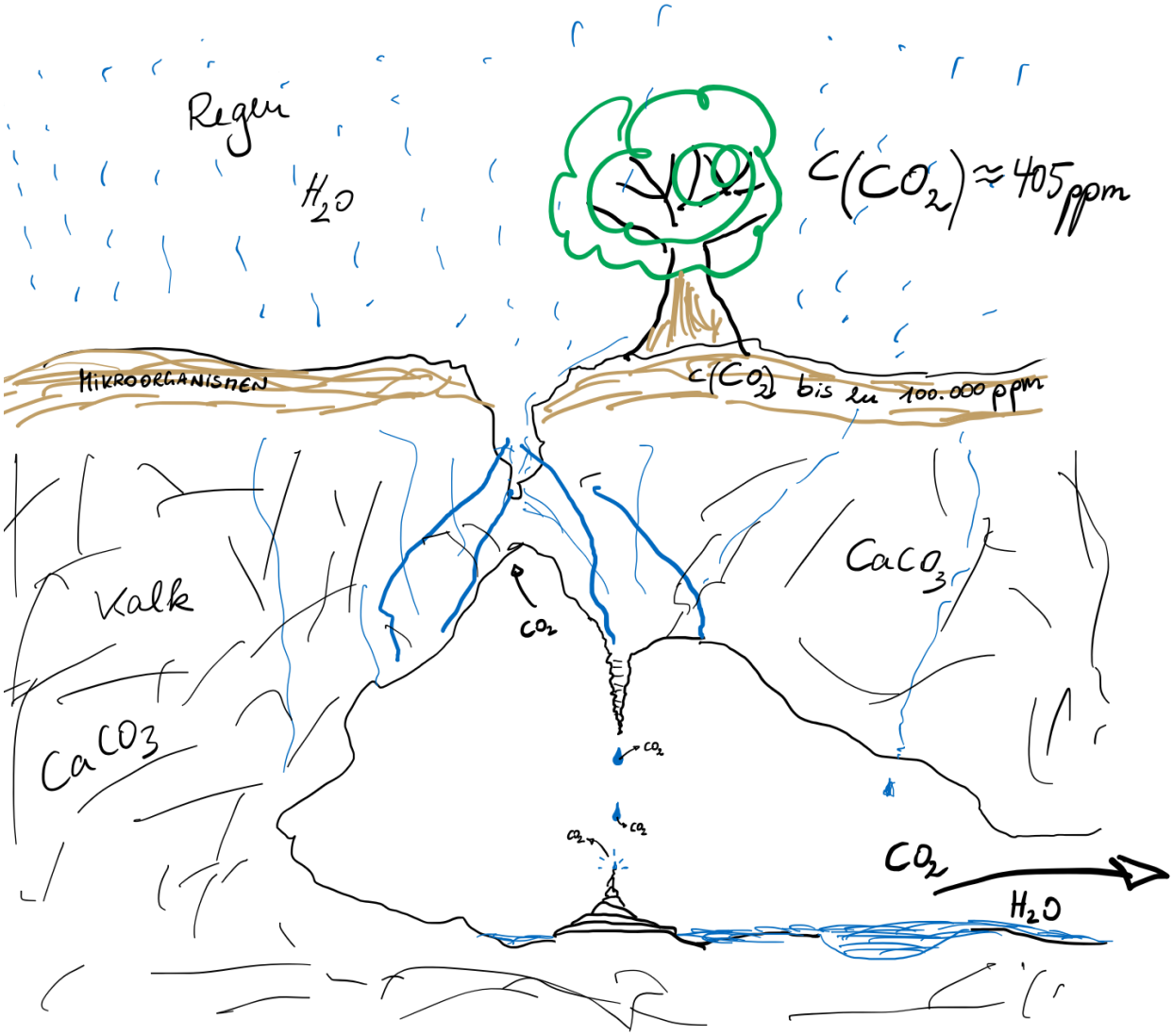
Auszüge aus der Analyse vom 28.02.2017, bestätigt durch laufende Kontrollen	**Kationen in**	**mg/L**	**Anionen in**	**mg/L**
	Natrium (Na^+):	28,8	Fluorid (F^-):	0,4
	Kalium (K^+):	6,9	Chlorid (Cl^-):	28,9
	Magnesium (Mg^{2+}):	124,8	Sulfat (SO_4^{2-}):	1463,2
	Calcium (Ca^{2+}):	529,4	Hydrogencarbonat (HCO_3^-):	403,0

Gregor von Borstel im Team LNCU für Sinus/QUA-LiS NRW, 2019. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.

Wie kommt das Loch in den Kalkboden?

CO_2 in Atmosphäre und Lithosphäre – Teile des natürlichen Kalkkreislaufs

M4 Schematische Darstellung der Prozesse in der Tropfsteinhöhle unter der Doline



Doline (von slawisch *dolina*, „Tal“, „Sinkhöhle“): trichterförmige Senke in Gebieten mit Kalkstein, s. Abb. 1
ppm: parts per million

Aufgabenstellung:

1. Erläutern Sie fachsprachlich richtig die Bildung von Tropfsteinen.

Weitergedacht:

2. Die Bildung von Tropfsteinen dauert tausende von Jahren. Nehmen Sie Stellung zu der Tatsache, dass in vielen für den Publikumsverkehr geöffneten Tropfsteinhöhlen die Besucherzahlen pro Jahr für die Höhlen mit Blick auf deren Erhalt für die Nachwelt stark reglementiert sind.
3. Vergleichen Sie die beiden Phänomene der Kalkablagerung am Beispiel des Wasserkochers und der Tropfsteinhöhle mit Blick auf die jeweilige Störung des Gleichgewichts.

Gregor von Borstel im Team LNCU für Sinus/QUA-LiS NRW, 2019. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.