Die Idee dahinter: Wie kommt das Loch in den Kalkboden?

Das Kalk/Calciumhydrogencarbonat/Kohlenstoffdioxidgleichgewicht

Didaktisch-methodische Hinweise

In der Lernaufgabe zur Einführung des Kalkkreislaufs als Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufs bestätigen die Schüler zunächst experimentell das vermehrte Auflösen von Calciumcarbonat mit steigender CO_2-Konzentration der wässrigen Lösung und erklären dies durch die Reaktion zu gut wasserlöslichem Calciumhydrogencarbonat.

Der zentrale fachwissenschaftliche Erkenntnisfortschritt der Stunde bezieht sich die Verwitterung von $CaCO_3$, die sich in der Hinreaktion der Gleichgewichtsreaktion

$$CaCO_3\,(s) + CO_2\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons Ca^{2+}\,(aq) + 2\,HCO_3^-\,(aq)$$

widerspiegelt. Die Hinreaktion kann - dem Prinzip von Le Chatelier entsprechend - durch eine erhöhte CO_2-Konzentration im einwirkenden Wasser gefördert werden. Dies ist auch der Grund dafür, dass unterirdische $CaCO_3$-Vorkommen bei entsprechenden Niederschlagsmengen deutlich schneller verwittern als $CaCO_3$-Vorkommen, die sich an der Erdoberfläche befinden. Um die Zusammenhänge des Kalkkreislaufs zu erfassen, müssen die Schüler, wenn man vom Kalk ausgeht, die folgenden gedanklichen Schritte durchlaufen:

- Kalk ist schwer wasserlöslich, dennoch lösen sich kalkhaltige Gesteine mit der Zeit vermeintlich in Wasser auf.
- Dafür verantwortlich ist die Bildung von gut wasserlöslichem Calciumhydrogencarbonat durch Einwirkung von Kohlenstoffdioxid und Wasser auf Kalk.
- Die Reaktion von Kalk zu gelöstem Calciumhydrogencarbonat wird als Gleichgewichtsreaktion betrachtet, die sich durch eine Veränderung der CO_2-Konzentration beeinflussen lässt. Die Lernenden haben die Beeinflussung des HCO_3-/$CO3_2^-$-Gleichgewichts durch CO_2 idealerweise schon bei der Thematisierung des Solvay-Verfahrens kennengelernt.
- Das Gleichgewicht zwischen Calciumcarbonat und Calciumhydrogencarbonat lässt sich wieder auf die Seite des Calciumcarbonats verschieben, wenn Kohlenstoffdioxid aus der Lösung entweicht.
- Die Lage des Gleichgewichts ist damit insgesamt abhängig von der Kohlenstoffdioxidkonzentration im Wasser.

Es läge nahe, die Schüler alle fünf Schritte direkt zusammen an den chemischen Abläufen in einer Tropfsteinhöhle erarbeiten zu lassen. Die Sachzusammenhänge sind aber komplex und werden in zwei Phasen unterteilt, an die sich dann eine abschließende Gesamtreflexion anschließt:

Phase 1: Umwandlung von Kalk zu Calciumhydrogencarbonat im Boden (Schritte 1 bis 3)

Phase 2: Bildung von Kalk aus Calciumhydrogencarbonat zunächst in Tropfsteinhöhle, dann in anderem Kontext, wie z.B. am Boden von Wasserkochern (Schritte 4 und 5)

Die Lernaufgabe befasst sich daher zunächst mit der ersten Phase inklusive einer Betrachtung auf Teilchenebene.

Möglicher Ablauf

1. Problemstellung entdecken und Vorstellungen entwickeln

Die Abbildung einer durch Kraterbildung zerfurchten Karstlandschaft dient zur Entwicklung von Fragen. Die Kraterbildung basiert auf dem Einsturz einer sogenannten Doline u. a. als Folge der Verwitterung von Kalk aus dem Untergrund.

Andreas Böhm und 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.

Eine endgültige Kanalisierung der Beiträge kann durch weitere Abbildungen (z. B. Bodenprofil mit sichtbarem Kalkgestein und versickerndem Regenwasser vs. Brunnen-Kalkfiguren im ständigen Wasserfluss) erfolgen. Durch diese Abbildungen wird das zu klärende Problem deutlich gemacht. In dem einen Fall (Doline) scheint Kalk durch Einwirkung von Wasser „weggewaschen" worden zu sein, in dem anderen Fall (Brunnen) ist Kalk gegenüber Wasser resistent. Die resultierende Frage „Wie kommt das Loch in den Kalkboden?" stellt einen Zwischenstand der Problematisierung dar.

Zentraler Arbeitsauftrag: prüfe experimentell die aufgestellte Hypothese und stelle die Ergebnisse der Prüfung ggf. auch in Form von Reaktionsgleichungen vor.

2. Lernmaterial bearbeiten / Lernprodukt erstellen

Vor der Erarbeitung sollte man die Sinnhaftigkeit des Vorversuches V1 und die minimal (A1 bis A4a) bzw. maximal (A4b, Aufgaben zu M3) zu erfüllenden Arbeitsaufträge klären.

Die Lernenden können mit Hilfe der Materialien nachweisen, dass Kalk unter Einfluss von Wasser und Kohlenstoffdioxid zu einem gut wasserlöslichen Stoff reagiert. Eine gleichzeitige Beobachtung der Veränderung des pH-Wertes erscheint dabei für tiefergehende Betrachtungen sinnvoll. Es muss aber später geklärt werden, dass im gewählten Kontext Kalk als Feststoff im Gestein bereits vorlag, wie ihn hingegen fein verteilt hergestellt haben.

Mit dem Experiment wird streng genommen nicht gezeigt, welches Reaktionsprodukt dabei entsteht, da keine Hydrogencarbonat-Ionen nachgewiesen werden. Um eine Auswertung zu ermöglichen, ist das entstandene Produkt an mehreren Stellen vorgegeben (M1, M3).

Hinweise zu den Experimenten V1/V2 für Lehrende

Im offenen Reagenzglas erkennt man nach Zugabe von 20–40 mL Kohlenstoffdioxid, dass sich fein verteilter Kalk bildet. Ab da wird in 20mL Schritten Kohlenstoffdioxid durch die Lösung gesprudelt.



Vor Zugabe von CO_2



nach Zugabe von 40mL CO_2



… 80mL



… von 140mL CO_2



Mit noch geringeren Mengen kommt man im geschlossenen System aus:

5mL Calciumhydroxid-Lösung („Kalkwasser") werden mit 4 Tropfen Universalindikator (Unisol 1-13) versetzt und in eine Kunststoffspritze aufgesaugt. Über einen Dreiwegehahn wird die klare Lösung aus einer weiteren Kunststoffspritze mit 2-3mL Kohlenstoffdioxid versetzt, damit sich fein verteilter Kalk bildet (Bilder 1 und 2).

Dann werden nacheinander immer 2-3 mL Kohlenstoffdioxid durch die Lösung gesprudelt und die Spritze am Ende mehrfach geschüttelt bzw. die Lösung zwischen den Spritzen hin- und hergeschoben (Bilder 3 - 5).

Andreas Böhm und 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.


1) Vor Zugabe von CO_2


2) nach Zugabe von 2,5 mL CO_2

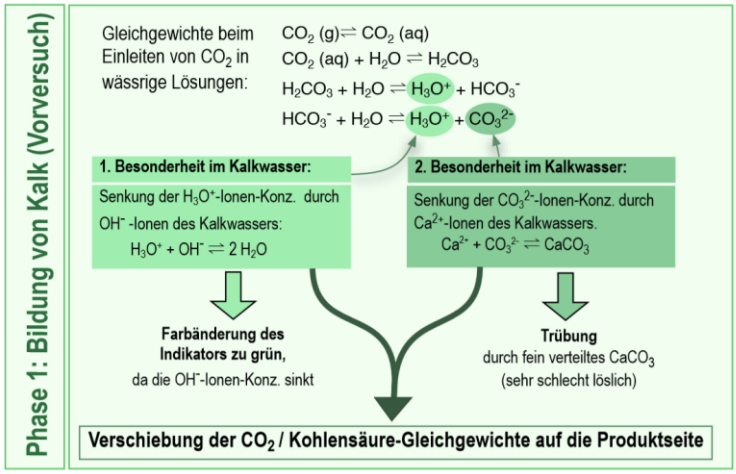

3) nach Zugabe von 7 mL CO_2

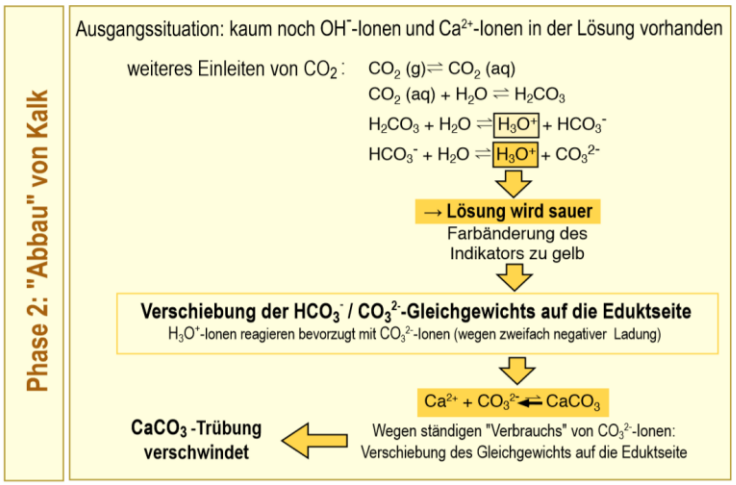

4) nach Zugabe von 10mL CO_2

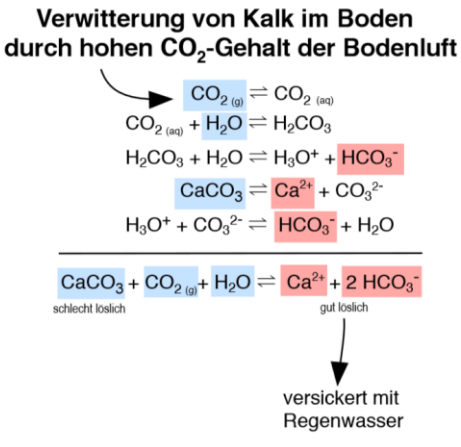

5) … nach dem Schütteln

3. Lernprodukt präsentieren, diskutieren/verhandeln und sichern

Haben die Lernenden den Sinn des Vorversuchs richtig erfasst? Können sie benennen, was genau untersucht wurde und die Deutungen formulieren?
Kommen Sie auf die Hypothese zurück und beziehen sie das Modellexperiment wieder auf die Ausgangssituation rück (CO_2 aus Humusschichten). Die Verknüpfung von stofflicher Ebene und Reaktionsgleichungen zeigt den Eingriff in das chemisches Gleichgewicht:







4. Mögliche Anknüpfungen oder Vernetzungen, die sich im Folgenden anschließen können

Kalkablagerungen im Wasserkocher und der Weg von der Dolinenbildung zur Tropfsteinhöhle können direkt im Anschluss besprochen werden (M4). Aber auch die Wirkung von Carboanhydrase im Blut bei der Umwandlung von Kohlenstoffdioxid zu Hydrogencarbonat sowie die später betrachtete Meeresversauerung („Kohlenstoffdioxid stößt den Korallen sauer auf“) sind weitere Anwendungen (s. Klausuraufgaben).

Andreas Böhm und 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.