

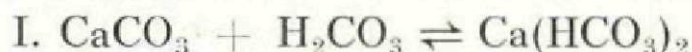
Das Verhalten von Karbonaten in der Natur

Von Alfred Bögli (Hitzkirch)

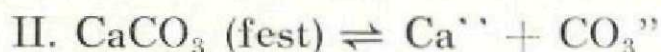
Überall, wo Karbonate als Gesteine anstehen, da spielen Fragen der Auflösung und Ausscheidung eine beträchtliche Rolle. Es existiert daher eine umfangreiche Literatur über kalkhaltige Wässer und ihr Verhalten. Trotzdem bestehen über den Mechanismus der natürlichen Auflösungs- und Ausscheidungsvorgänge recht verschiedene Ansichten. Die Untersuchungen über Kalk sind dabei als repräsentativ für die ganze Gruppe zu betrachten.

Physikalisch-chemische Grundlagen

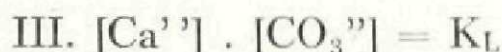
Der Auflösungsvorgang erscheint oberflächlich gesehen in einer Umwandlung des schwerer löslichen Kalkes in das leichter lösliche Bikarbonat unter dem Einflusse von Kohlensäure.



Diese Gleichung sagt aber nichts aus über den Lösungsvorgang an sich, da er eine Ionenreaktion ist.



Das Gleichgewicht dieser Reaktion ist durch das Lösungsprodukt K_L festgelegt:



Das im Wasser gelöste Kohlendioxyd ist nur zu 0,7 % als Kohlensäure gebunden, der Rest ist physikalisch gelöst und von geringer chemischer Reaktionsfähigkeit. Die Dissoziation der Säure erfolgt nach Gleichung IV.



Die erste Dissoziationskonstante K_1 beträgt:

$$\text{V. } K_1 = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3']}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ bei } 18^\circ \text{ C}$$

Die HCO_3 -Ionen sind wenig dissoziiert.



$$\text{VII. } K_2 = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CO}_3^{--}]}{[\text{HCO}_3']} = 2,7 \cdot 10^{-10} \text{ bei } 18^\circ \text{ C}$$

Nach Gleichung VII ist die zweite Dissoziationskonstante um ca. $2 \cdot 10^6$ kleiner als die erste. Darum wird das CO_3 -Ion, das aus der Auflösung des Kalkes stammt (II), mit Hilfe des

Wasserstoff-Ions der Kohlensäure (V) in das Hydrokarbonat-Ion umgewandelt und verschwindet aus der Lösung. Dadurch wird aber das Gleichgewicht zum festen Kalk gestört (II), was sich vorerst dadurch ausdrückt, daß das Auflösungsprodukt nicht eingehalten wird (III). Nur durch weiteres Auflösen von Kalk kann der konstante Wert K_L erhalten bleiben. Mit steigendem Kohlensäuregehalt wächst auch die Konzentration der H-Ionen, die ihrerseits wiederum mit dem CO_3 -Ion des gelösten Kalkes assoziieren, was neue Kalklösung zur Folge hat. Die Lösbarkeit des Kalkes steigt mit dem Kohlensäuregehalt des Wassers.

In Hydrokarbonatform gelöster Kalk ergibt zu den Ca-Ionen äquivalente Mengen an Hydrokarbonat-Ionen, die sogenannte gebundene Kohlensäure. Darüber hinaus aber muß das Gleichgewicht nach IV und V eingehalten werden, was nur durch die sogenannte freie zugehörige Kohlensäure erreicht wird. Sollte noch mehr Kohlensäure im Wasser vorhanden sein, dann wirkt sie kalkauflösend, kalkaggressiv und wird entsprechend als kalkaggressive Kohlensäure bezeichnet.

Die Kohlensäure im Wasser entstammt der Luft. Auch hier wird durch eine Gleichgewichtsbeziehung der Zustand geregelt. Bei 15°C besteht die folgende Beziehung:

$$\text{VIII. } M = 2,001 \cdot \text{Partialdruck des } \text{CO}_2 \text{ in Atmosphären}$$

(M ist die Anzahl Gramm CO_2 im Liter Wasser.)

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich dieses Gleichgewicht einstellt, ist gering, was bei der Bildung der Rillenkarren sich stark auswirkt.

Auflösung und Ausscheidung von Karbonaten

a) Die Temperaturabhängigkeit im Freien.

Immer wieder wird die Temperaturabhängigkeit der Kalklöslichkeit als Ursache für die Ausscheidung von Kalk angegeben, um die Tuffbildung zu erklären. Die zahlenmäßige Verfolgung dieses Problems zeigt aber einige überraschende Momente. Nehmen wir an, eine Quelle trete mit der klimatischen Durchschnittstemperatur zu Tage. Eine Erwärmung um 5°C hätte eine Ausscheidung von 5 mg Kalk pro Liter zur Folge. Um aber einen Liter Wasser um so viel zu erwärmen, müßten auf Grund der spezifischen Wärmen und der Litergewichte 3206 Liter Luft um gleich viel abgekühlt werden. Es ist leicht ersichtlich, daß eine solche Erwärmung im Bereiche der Quelle nur bei kleinstem Ergüsse und nur bei Ausbreitung in ganz dünnen Schichten möglich ist. Ausscheidung bedeutet überdies nicht unbedingt auch Sedimentation. Umgekehrt wird eine gleich große Abküh-

lung die Löslichkeit um den gleichen Betrag heben, was eine Auflösung von Kalk zur Folge hat. Wenn eine Sedimentation infolge von Temperaturschwankungen stattfinden sollte, so muß ihr Ausmaß derart klein bleiben, daß die Schwankung nie zur Erklärung der gelegentlich gewaltigen Tufflager herangezogen werden kann.

b) Die Wirkung der Verdunstung im Freien.

Das Maß der Verdunstung ist abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt der Bewegung, der Temperatur und dem Drucke der Luft sowie von der verdunstenden Oberfläche. Es wechselt daher von Ort zu Ort. Nehmen wir als Maß etwa die Verdunstungsgrößen im Val Melera oder in der Landschaft Davos, so müssen wir mit gegen 500 mm Wasserverdunstung rechnen. Das sind Beträge, die aber in Zusammenhang stehen mit dem Wasserhaushalt dieser Landschaft und daher abhängig sind von der Oberflächenform, der Gesteins- und Bodenfarbe, der Bewachsung, der Durchlässigkeit, von den klimatischen Gegebenheiten und vielen andern Faktoren. Sicherlich wird die Verdunstung aus einem Gerinne ein anderes Ausmaß erreichen. Trotzdem wollen wir für unsere Rechnung die obigen Zahlen als Handhabe verwenden. Im Muotatal wurden bei Messungen an 5 Felsquellen ein Durchschnitt von 9,2 Härtegraden (französische Härte = Anzahl Gramm gelösten Kalkes auf 100 Liter Wasser), an 8 Stromquellen, die als große Felsquellen angesprochen werden können und teilweise zugänglichen Höhlensystemen entstammen, im Mittel 10 Grade gefunden. 26 Schuttquellen erzielten 11,7 Grade. Diese Werte stammen aus alpinem Karst mit Höhenlagen der Wasseraustritte zwischen 640 m Meereshöhe und 1900 m, während die Einzugsgebiete zwischen 1300 und 2300 m Höhe liegen. H. Oertli fand in der Innerkrain Werte um 20 Grade, was auf die ausgedehnte Bewachsung und die humushaltigen Böden zurückzuführen ist. Sie nähern sich daher den Beträgen unversenkter Gebiete, etwa des schweizerischen Mittellandes. Entsprechend würde die jährliche Kalkausscheidung pro dm² 500 bis 1000 mg betragen, was eine Höhe von zwei bis vier Hundertstel Millimeter ergibt. Damit käme es innert 100 Jahren infolge Verdunstung nur zu zwei bis vier Millimetern Sinterabscheidung.

Von anderer Art sind jedoch die Ausscheidungen aus Tropfwasser in stark winddurchströmten Tunnels. Hier bilden sich innert kurzer Zeit beträchtliche Sintermengen, doch zeigen sie auffällig starke Porosität und Zerreiblichkeit. So sind im botanischen Garten zu Bonn innert 200 Jahren Stalaktiten mit 40 cm Länge und 10 cm Umfang entstanden. Wahrscheinlich sind viele

Montmilchvorkommen eine Folge der Verdunstung. Ebenso dürften Neubildungen von einigen Zentimetern innert weniger Jahre in der Grotte des Demoiselles durch Verdunstung mitbewirkt worden sein, da hier ein Durchbruch eine ständige starke Luftzirkulation hervorgerufen hat.

c) Temperaturabhängigkeit und Verdunstungswirkung in Höhlen.

Jede Höhle muß als Individuum betrachtet werden, so daß es schwer hält, allgemein Gültiges auszusagen. Wir kennen trockene und feuchte, windstille und winddurchbrauste, kalte und warme, temperaturkonstante und temperaturvariable Höhlen. Es seien hier jene Höhlen ausgeschaltet, die in all diesen Belangen Verhältnisse zeigen, die einige Ähnlichkeit mit der Erdoberfläche besitzen. Wo trotzdem die Notwendigkeit besteht, darauf einzugehen, da wurde dies schon weiter oben getan.

Wir halten uns im weitem an die Verhältnisse im Hölloch, wo neben winddurchbrausten Gängen auch solche mit einer Beschränkung auf Konvektionsströmungen oder gar solche ohne jeglichen Luftzug auftreten. Die Höhle verläuft zwischen 300 und 800 m unter der Erdoberfläche, unterteuft sogar einen Tal-lauf in 400 m Tiefe und zieht sich unter eine höher gelagene tektonische Decke hinein. Die Temperaturschwankungen sind nicht nur äußerst gering, übersteigen kaum 1°C , sondern auch sehr langsam und treten im Jahre nur wenige Male auf. Andererseits ist auch die relative Luftfeuchtigkeit meist zwischen 98 und 100 % gelegen. Merkbliche Ausscheidungen infolge von Verdunstung oder Temperaturschwankungen sind daher unmöglich. Es ist auffällig, daß hier im bergfeuchten Zustande halbdurchscheinende, ausnehmend schön kristallinische Tropfsteine die Regel sind. Stellenweise sind die Sinterbildungen sehr ausgedehnt, meist aber auf weite Strecken spärlich oder fehlend. Die Mächtigkeit der Überdeckung und die Vegetationsarmut des größeren Teiles des Einzugsgebietes erklärt dies zwangslos. Wo Tropfsteine auftreten, da fehlt nicht selten jede Luftzirkulation. Dies weist darauf hin, daß weder Temperaturschwankungen noch Verdunstung, sondern andere Faktoren maßgebend sein müssen.

d) Organogene Tuffe

Eine bedeutungsvolle Rolle in der Kalkausscheidung im Freien spielen voraussichtlich Assimilationsvorgänge bei wasserüberflossenen Pflanzen, etwa bei Quellmoosen. Ihren Bedarf an Kohlensäure decken sie aus dem darüber hinfließenden Wasser, so dessen Gehalt erniedrigend. Dadurch wird Kalk zur Ausschei-

dung gezwungen. Es fällt jedoch auf, daß solche Ablagerungen nur da auftreten, wo Wasser in dünner Schicht über die Pflanzen hinrieselt. Trocknet man flutende Wasserpflanzen, z. B. Laichkräuter, so erkennt man ausgeschiedene Kalkschichten, die mit den abgestorbenen Pflanzenteilen weggetragen werden. Über den Anteil des organogenen Tuffes an der gesamten Kalkausscheidung können keine nähern Angaben gemacht werden, da die Pflanzen auch die andern Ausscheidungsfaktoren günstig beeinflussen.

e) Die Bedeutung des chemisch-physikalischen Gleichgewichtes.

Höhlenluft ist, abgesehen von besonderen Fällen, von ähnlicher Zusammensetzung wie die Außenluft. Das bedeutet einen Partialdruck des CO_2 um 0,0003 Atmosphären. Regenwasser, das in die Tiefe dringt, hat das Bestreben, das Gleichgewicht mit dieser Luft zu erlangen. Dazu braucht es viel Zeit, meist mehrere Tage. Die im Wasser gelöste Kalkmenge ist infolgedessen nicht nur abhängig vom Kohlensäuregehalt der Luft, sondern auch von der Fließgeschwindigkeit des Wassers. Ist sie groß, so fließt im Gesteine kalkaggressives Wasser.

Die Bodenzone enthält beträchtliche Mengen organischer Substanzen, die durch Kleinlebewesen abgebaut werden. Es entstehen beträchtliche Kohlensäuremengen, so daß in der Bodenluft bis zu 10 Prozent davon enthalten sein können. Je mächtiger und humusreicher die Bodenschicht ist, um so langsamer wird sie vom Wasser durchquert und um so mehr Kohlensäure nimmt das Wasser auf. Es löst daher beträchtliche Kalkmengen, ja gelangt sogar noch mit kalkaggressiver Kohlensäure in die Felsspalten. Geht hier der Lauf in ein Druckgerinne über, so stellt sich nach einiger Zeit Gleichgewicht ein. Dieses liegt je nach dem Ort und seinen klimatischen Bedingungen zwischen 8 und 30 Härtegraden; in Hitzkirch wurde 1947 sogar 39 Grad gemessen. Sobald aber das Wasser in einen Raum mit freier Oberfläche eintritt, ist es gegenüber normaler Höhenluft nicht mehr im Gleichgewicht. Es wird solange CO_2 abgegeben, bis dieses einigermaßen erreicht ist, — sofern genügend Zeit zur Verfügung steht. Dabei werden unter Umständen ganz beträchtliche Kalkmengen ausgeschieden. Bei der Annahme einer Ausgangskonzentration von 200 mg/L (= 20 Härtegrade) wird das Gleichgewicht etwa bei 6½ Grad erreicht. Es würden somit aus jedem Liter 135 mg Kalk ausgeschieden! Das sind Mengen, die jene aus der normalen Verdunstung oder gar aus den Temperaturdifferenzen um das Mehrhundertfache übertreffen.

f) Das Eisenkarbonat.

Die Abhängigkeit des Eisenkarbonates vom Kohlensäuregehalt und der Temperatur seines Lösungsmittels ist noch ungenügend untersucht. Es verhält sich in vielen Teilen ähnlich dem Kalke, doch ist es weniger löslich. Bei 1 Atmosphäre CO_2 -Druck lösen sich beispielsweise 10,986 g Kalk auf 10 Liter Wasser, aber nur 3,3 g Eisenkarbonat. Bei Anwesenheit von Sauerstoff geht dieses leicht in das dreiwertige Oxydhydrat Limonit über und fällt aus.

Es gibt mehrere Quellen für die Zufuhr von Eisen ins Kluftwasser. Von größter Bedeutung dürfte wohl die Lösung des Eisens in humidem Klima durch organische Substanzen sein. Kann dieses eisenhaltige Wasser nur langsam eindringen, dann wird das Eisen in tiefern Bodenschichten zu Limonit oxydiert und bildet einen B-Horizont. Erreicht es aber rechtzeitig die Kalkklüfte, dann dringt es in die Höhlenräume ein. Hier scheidet es sich vor dem Kalk aus. Es ist nur eine Frage der Fließgeschwindigkeit, ob der Tropfstein durch den sich bildenden Limonit zur Gänze oder nur in seinen oberen Teilen gefärbt wird. Allein schon die verschiedene Fließgeschwindigkeit bei größerem oder kleinerem Wasserandrang genügt, um gebänderte Sinterschwarten zu erzeugen. Aber auch im Querschnitt der Tropfsteine muß sich infolgedessen der Wechsel zwischen roten und hellen Schichten zeigen. Ein besonders schönes Beispiel ließ mir Knuchel aus der Beatushöhle bei Interlaken zukommen. Umgekehrt kann man aus dieser Schichtung Rückschlüsse über die Bildung der Tropfsteine ziehen. Wenn aber neben herrlich rotgoldenen und zweifarbigen Tropfsteinen noch rein weiße an den Wänden prangen, oder wenn neben gefärbten, schichtigen, solche mit ungefärbten Kernen oder Überzügen vorkommen, dann kann dies nicht mehr allein durch Wechsel in der Fließgeschwindigkeit erklärt werden. Als eine Möglichkeit muß berücksichtigt werden, daß der Eisengehalt schon in höhern Hohlräumen zurückgelassen worden ist. Damit wäre bei Gleichzeitigkeit der Entstehung ein mindestens zweifacher Weg aufgezeigt. Solche Erscheinungen sind jedoch im Hölloch die Regel. Es ist kaum anzunehmen, daß an allen Orten eine direkte Druckwasserzufuhr durch ein mehrere hundert Meter mächtiges Deckgebirge regelmäßig gleichzeitig neben einer Wasserzufuhr über bereits vorhandene höhere Hohlräume existiert. Im allgemeinen erhält man den Eindruck, daß hier ein chronologisches Phänomen in Erscheinung tritt, ein Nacheinander. Als Ursache kommen klimatische Erscheinungen in Frage. Solange ein humides, gemäßigtes, vor allem kühl-gemäßigtes Klima herrscht, so lange ist das Eisen

starker oberirdischer Lösung ausgesetzt; der A-Horizont des Bodens entfärbt sich, das Eisen wandert in die Tiefe. Im wärmeren Klima wird es schneller in Limonit umgewandelt und dringt daher weniger tief in den Boden, ja kann bei genügender Wärme und eingeschalteten Trockenzeiten sogar an der Oberfläche zurückbleiben (Roterdebildungen). So können wir den roten und rot gebänderten Tropfsteinen ein kühl gemäßigtes Klima zuordnen, wobei wir offen lassen wollen, ob die Bänderung von klimatischen Schwankungen thermischer und niederschlagsmäßiger Art oder von jahreszeitlichen Einflüssen abhängen. Die weißen würden einem wärmeren, vielleicht auch trockenerem Klima zuzuordnen sein. Es ist anzunehmen, daß in unseren alpinen Höhlen zu Zeiten der Eisbedeckung infolge fehlender biologischer Kohlensäure keine Tropfsteine sich gebildet haben, daß diese Zeiten sogar als ausgesprochene Korrosionszeiten anzusprechen sind.

Der Gegensatz von Korrosion und Sinterbildung

Die Initialphase jeder Karsthöhlenbildung ist korrosiv. Dadurch wird in den Gegensatz von Korrosion und Sinterbildung eo ipso eine chronologische Komponente impliziert. Zu Unrecht, wenn wir von der Initialphase absehen. Dieser Gegensatz ist seinem Wesen nach ein ungeschichtliches Phänomen, — was nicht hindert, daß ihm trotzdem ein chronologischer Gehalt innewohnen kann. Es ist offensichtlich, daß es Zeiten starker Korrosion, solche vermehrter Sinterbildung gegeben hat, daß aber auch beide nebeneinander vorkommen können.

Nach dem Aktualitätsprinzip ist zur Erkenntnis verfloßenen Geschehens das gegenwärtige zu erfassen. Man ist sich heute noch nicht klar über das Ausmaß der Erosion an der Ausräumung der Höhlengänge. Sicherlich tritt sie in kleinen Gerinnen reinen Wassers gegenüber der Korrosion vollständig zurück. In Gängen mit größerem temporärem oder perennierendem Wasserdurchsatz kann sie sehr bedeutsam werden. In Strudeltöpfen findet man immer wieder Sand und Steine und den Achsenzapfen, untrügliche Kennzeichen erosiver Tätigkeit. Es muß daher angenommen werden, daß ein wechselnder, gelegentlich bedeutender Anteil des Hohlraumes erosiv entstanden ist. Daher kann auch kalkgesättigtes, ja kalkausscheidendes Wasser noch erweiternd auf die Höhlen einwirken und sich so verhalten wie kalkaggressives. Es bedeuten aus diesem Grunde die sinterfreien Gänge durchaus nicht immer, daß hier aggressives oder im Gleichgewicht befindliches Wasser durchfloß.

Der tägliche und jahreszeitliche Gang der Kalkgehalte zeigt

im Hölloch charakteristische Schwankungen. Bei schnellem Wasserdurchsatz zur Zeit der Frühjahrsschneeschmelze sinkt der Kalkgehalt des „Schleichenden Brunnens“, der Austrittsstelle des Höllochwassers, auf nur 70 mg/L. Dieser niedrige Wert erklärt sich auch daraus, daß am Ende der kalten Jahreszeit die biologische Kohlensäure ein Minimum erreicht, und daß das Wasser aus vegetationsarmen Karrenfeldern stammt. Demgegenüber zeigt das Wasser im Spätherbst einen Gehalt bis zu 120 mg/L bei ziemlich hohem Wasserstand, weil der Anteil biologischer Kohlensäure auf ein Maximum gestiegen ist. Der hohe Gehalt wurde gemessen, als größere Niederschläge fielen, die über 1100 m in Schnee übergingen, so daß der Zufluß zur Höhle aus den tieferen humusreichen Karrenwäldern stammte. Eine Messung, die nur vier Tage früher gemacht wurde, ergab im Gegensatz dazu 85 mg/L. Damals waren acht regenlose Tage verflossen, so daß das Gleichgewicht des Wassers mit der Höhlenluft fast erreicht wurde. Es ist anzunehmen, daß im Bereiche des Höhlenflusses eine Phase der Kalkausscheidung geherrscht haben muß, da keine aggressive Kohlensäure nachgewiesen werden konnte. Es bestehen somit neben dauernd korrosiv wirkenden Höhlenwässern solche, die zeitweise korrosiv, zeitweise akkumulativ tätig sind, wobei unter akkumulativ ganz allgemein Kalkausscheidung verstanden sein soll. Es stehen sich somit in der Höhle drei Gewässertypen gegenüber:

1. Der dauernd kalkaggressive, der korrosive Typ;
2. der dauernd kalkausscheidende, der akkumulative Typ;
3. der variable Typ, der von der Korrosion über ein intermediäres Stadium zur Akkumulation und wieder zurück pendeln kann.

Je länger der Sickerweg des Bergwassers wird, um so näher wird es dem Gleichgewicht mit der Höhlenluft sein. Daraus ergeben sich einige wichtige Schlüsse. Höhlen, die sich nur wenige Meter unter Tag befinden, erhalten das Wasser der humusreichen Bodenschichten aus erster Hand. Der Kalkgehalt ist in vegetationsreichen Gebieten hoch und übersteigt meist 200 mg/L, wobei das Wasser sogar noch kalkaggressiv sein kann. Das erklärt, warum sich die Klüfte nicht durch ausgeschiedenen Kalk schließen, eine Erscheinung, die allgemein für Klüfte mit Druckleitung gilt. Sobald das Wasser das Höhlendach oder andere Stellen mit freier Oberfläche erreicht, wird die kalkaggressive, dann auch die „freie zugehörige“ Kohlensäure abgegeben, so daß es zur Kalkausscheidung kommen muß. Bei größerem Wasserandrang genügt die Abtropfzeit nicht zur Bildung größerer Sintermengen an der Decke. Am Boden vergrößert sich durch Zer-

spritzen die Wasseroberfläche schlagartig, so daß in kurzer Zeit größere Kohlensäuremengen abgegeben werden können. Die Stalagmiten sind daher in der Regel viel größer als die Stalaktiten. Die wenig tief gelegenen Höhlen sind häufig durch einen üppigen, herrlichen Sinterschmuck ausgezeichnet. Wir erinnern an Bären- und Nebelhöhle in Deutschland und Aven Armand und Aven Orgnac in Frankreich, um nur einige wenige zu nennen.

Das Hölloch gehört zu den tiefsten Höhlen, liegen die bekannten Gänge doch durchwegs 300 bis 800 m unter der Erdoberfläche. Das Sickerwasser hat auf dem langen Wege viel Gelegenheit, seinen Kohlensäureüberschuß loszuwerden, bevor es in die bekannten Gänge eintritt. Die hier ausgeschiedenen Kalkmengen sind daher vergleichsweise klein, doch zeichnen sie sich durch besondere Reinheit und Farbenpracht aus und dadurch, daß das Licht durch dickere Schichten durchscheint, eine Folge der langsamen Kalkausscheidung. Der wechselnde Eisengehalt ergibt alle Abstufungen von Weiß bis zum dunklen Rot. Primär ist er ein Verwitterungsprodukt, doch kann es sich um mehrfach umgelagertes Eisen handeln, da neben gewaltigen sehr alten eisenhaltigen Höhlenlehmlagern auch ausgesprochene limonitische „Höhlenlack“-Krusten vorkommen.

Es wäre vermessen, über einige allgemein gültige Prinzipien hinaus eine Erklärung aller Sinterformen geben zu wollen, da jeder Ausscheidungsort eine ausgesprochene Individualität besitzt, die die Formen maßgeblich bestimmt.

Literaturnachweis:

- Bögli A., Probleme der Karrenbildung; Geographica Helvetica, Heft 3, 1951.
 —, Im Banne der Höhle; SVB-Verlag, Luzern, 1953.
 —, Der Schleichende Brunnen; Verlag NZZ, Zürich, April 1953.
 —, Die Höhlenforschung und ihre Stellung in der Wissenschaft; Naturwissenschaftliche Rundschau, Heft 6, Juni 1954.
 Brauns A. u. R., Tropfsteine aus dem botanischen Garten der Universität Bonn; Centralblatt für Min., Geol. u. Pal.
 Burger H., Der Wasserhaushalt im Valle di Melera 1934/35 und 1943/44; Mitt. der schweiz. Anst. für das forstl. Versuchswesen.
 Gmelins Handbuch der anorg. Chemie, 8. Aufl., Eisen, Teil B.
 Candolt-Börnstein, Physik.-chem. Tabellen.
 Lehmann O., Die Hydrographie des Karstes; Enzyklopädie der Erdkunde, 1932.
 Lütshg O., Zur Hydrologie der Schweizer Alpen; Verh. der Schweiz. Naturf. Ges., Thun, 1932.
 Oertli H., Karbonathärte von Karstgewässern, Stalactite 1953/54.
 Schmassmann H., Die theoret. Grundlagen bei der Bestimmung und Berechnung von aggressiver Kohlensäure in nat. Gewässern; Schweiz. Archiv für angew. Wiss. und Technik.
 —, Hydrochem. Methoden bei der Erforschung von Grundwasservorkommen; Ecl. Geol. Helv. 39 (1946).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1954

Band/Volume: [005](#)

Autor(en)/Author(s): Bögli Alfred

Artikel/Article: [Das Verhalten von Karbonate in der Natur 36-44](#)