

nicht zu machen. Deshalb ist es unbedingt nötig, daß bei Rettungsaktionen die Technik des Stiftebohrens angewendet und vor allem beherrscht wird. Höhlenforschung in diesen extremen Formen, wie sie in den letzten Jahren betrieben wurde, wäre ohne Bohrstifte nicht möglich gewesen. Materialschlachten in den schwierigen tiefen Schächten werden von Bohrstiften beeinflusst.

Zum Abschluß noch ein Wort über die *Pflege*:

Versicherungen, Seile und Stifte brauchen kaum Pflege. Nur müssen sie bei jedem Durchstieg auf Sicherheit, Abnutzung und Lockerung beobachtet werden. Lose Stifte und eingerissene Seile müssen sofort repariert werden. Kontrolle der Versicherungen ist oberstes Gebot! Gewohnheit ist der schlimmste Feind des Forschers!

## Zur Berechnung korrosiv löslicher Kalkmengen

Von Herbert W. Franke (Kreuzpullach)

Eine häufige Aufgabe ist die Berechnung korrosiv löslicher Kalkmengen bei gegebenen  $\text{Ca}^{++}$ - und  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen der aggressiven Wässer. Voraussetzung für deren Lösungskapazität ist ein Ungleichgewichtszustand: Legt man die Abhängigkeit des Calcium- oder des Hydrocarbonatgehalts von der physikalisch gelösten Kohlendioxidmenge zugrunde, so muß der Zustandspunkt unterhalb der Gleichgewichtskurve liegen. Das ist der Fall bei korrosiven Wässern, die ihren Überschuß an  $\text{CO}_2$  aus der Luft bekommen haben, wie auch bei allen Fällen der Mischungskorrosion.

Die einsetzenden Ausgleichsprozesse führen zu einem Punkt auf der Gleichgewichtskurve

$$(1) \quad [\text{Ca}^{++}]_{gl} = K_0 \sqrt{[\text{CO}_2]_{gl}}$$

wobei die eckigen Klammern molare Konzentrationen, die Indices „gl“ den Gleichgewichtswert kennzeichnen.  $K_0$  ist eine empirisch ermittelte Konstante. Zu bestimmen ist noch, an welchen Punkt der Kurve (1) die Gleichgewichtseinstellung führt. Für den Zusammenhang zwischen den gegebenen Anfangswerten  $[\text{CO}_2]$  sowie  $[\text{HCO}_3^-]$  und den Endwerten  $[\text{CO}_2]_{gl}$  sowie  $[\text{HCO}_3^-]_{gl}$  gilt

$$(2) \quad [\text{CO}_2]_{gl} + [\text{HCO}_3^-]_{gl} = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + \Delta[\text{Ca}^{++}]$$

denn beim Lösungsvorgang kommt je Mol  $\text{Ca}^{++}$  auch ein Mol  $\text{CO}_3^{++}$  in die Lösung, das sich in  $\text{HCO}_3^-$  und in  $\text{CO}_2$  umwandelt. Da  $[\text{HCO}_3^-]$

im betrachteten Konzentrationsbereich rund  $10^4$  mal größer als  $[\text{CO}_3^{--}]$  ist, gilt mit hinreichender Genauigkeit

$$(3) \quad 2[\text{Ca}^{++}] = [\text{HCO}_3^-]$$

und somit ist

$$(4) \quad \Delta[\text{Ca}^{++}] = \frac{1}{2}[\text{HCO}_3^-]_{\text{gl}} - \frac{1}{2}[\text{HCO}_3^-]$$

Durch Einsetzen von (4) in (2) ergibt sich

$$(5) \quad [\text{CO}_2]_{\text{gl}} + \frac{1}{2}[\text{HCO}_3^-]_{\text{gl}} = [\text{CO}_2] + \frac{1}{2}[\text{HCO}_3^-]$$

die Gleichung für die  $\text{CO}_2$ -Bilanz im betrachteten Fall. Sie kennzeichnet die Gerade  $[\text{CO}_2] + \frac{1}{2}[\text{HCO}_3^-] = \text{const.}$  und hat die Steigung  $-2$  im Diagramm für  $[\text{HCO}_3^-]$  und  $[\text{CO}_2]$  und  $-1$  im Diagramm für  $[\text{Ca}^{++}]$  und  $[\text{CO}_2]$ . Diese entspricht dem Steigungsmaß von Bögli 1963.

Für den gesuchten Punkt im Diagramm müssen (1) und (5) erfüllt sein, er ist also geometrisch der Schnittpunkt beider Kurven, was für die graphische Lösung wichtig ist. Aber auch eine exakte arithmetische Lösung ist möglich.

Aus (1), (3) und (5) wird

$$(6) \quad [\text{Ca}^{++}]_{\text{gl}}^3 + K_o [\text{Ca}^{++}]_{\text{gl}} = K_o^3 ([\text{CO}_2] + [\text{Ca}^{++}])$$

Nach der Cardanischen Formel für die reelle Lösung einer in reduzierter Form vorliegenden kubischen Gleichung erhält man für den Kalkgehalt nach Gleichgewichtseinstellung:

$$(7) \quad [\text{Ca}^{++}]_{\text{gl}} = K_o \sqrt[3]{\frac{[\text{CO}_2] + [\text{Ca}^{++}]}{2}} + \sqrt{\frac{([\text{CO}_2] + [\text{Ca}^{++}])^2}{4} + \frac{K_o^3}{27}} + \\ + K_o \sqrt[3]{\frac{[\text{CO}_2] + [\text{Ca}^{++}]}{2}} - \sqrt{\frac{([\text{CO}_2] + [\text{Ca}^{++}])^2}{4} + \frac{K_o^3}{27}}$$

Dieses Ergebnis läßt sich für die Mischungskorrosion spezialisieren durch die Substitutionen

$$(8) \quad \begin{aligned} [\text{CO}_2] &= n[\text{CO}_2]_1 + (1-n)[\text{CO}_2]_2, \\ [\text{Ca}^{++}] &= n[\text{Ca}^{++}]_1 + (1-n)[\text{Ca}^{++}]_2, \end{aligned}$$

wobei  $n$  das Mischungsverhältnis angibt. Man erhält so die exakte Lösung des von Ernst 1964 nach einem Näherungsverfahren bearbeiteten Problems.

*Literatur:*

- Bögli, A., 1963: Mischungskorrosion — ein Beitrag zum Verkarstungsproblem; „Erdkunde, Archiv für wissenschaftliche Geographie“, Band XVIII, Lfg. 2, 83.  
Ernst, L., 1964: Zur Frage der Mischungskorrosion; „Die Höhle“, 15. Jg., Heft 3, 71.

## Geologische Grundlagen für das Vorkommen von Höhlen in Tirol

Von Georg Mutschlechner (Innsbruck)

Ein Blick auf die geologische Übersichtskarte des Bundeslandes Tirol zeigt den Aufbau des Landes aus mehreren Gesteinszonen, von denen die meisten (Zentralgneis, Quarzphyllitzone, Grauwackenzone, Öztaler- und Silvretta-Masse und das dazwischen liegende Engadiner Fenster) für Höhlenbildung praktisch ausscheiden. Hingegen kommen für Höhlenbildung hauptsächlich die Verbreitungsgebiete des Kalkes in Betracht: die Nordtiroler Kalkalpen und die schmale Marmorzone in der Schieferhülle des Zentralgneises in den Zillertaler und Tuxer Alpen.

Das Interesse der Höhlenforschung konzentriert sich daher nach wie vor auf den langen Streifen der Nordtiroler Kalkalpen. Die für das Zustandekommen natürlicher Hohlräume nötigen Voraussetzungen werden aber auch hier nur von wenigen Gesteinsarten erfüllt. Eigentlich sind es nur drei: Im östlichen Nordtirol (Waidringer Alpen) der *Dachsteinkalk*, der weiter im Osten sehr verbreitet und als Höhlenmuttergestein bekannt ist. Vom Kaisergebirge bis in die östlichen Lechtaler Alpen erstreckt sich das Verbreitungsgebiet des in viele Platten gegliederten und rund 1500 m mächtigen *Wettersteinkalkes*. In ihm liegen die Brennpunkte der bisherigen Tiroler Höhlenforschung: das Pleisengebiet bei Scharnitz im westlichen Karwendelgebirge, das Nachberggebiet nordwestlich von Wörgl und das Kaisergebirge. Im Rofangebirge (Sonnwendgebirge) hingegen herrscht der mehr massig ausgebil-

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1967

Band/Volume: [018](#)

Autor(en)/Author(s): Franke Herbert W.

Artikel/Article: [Zur Berechnung korrosiv löslicher Kalkmengen 38-40](#)