

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Höhlenkunde

Knebel, Walther von

Braunschweig, 1906

Sechstes Kapitel. Die Korrosion in Kastgebirgen

2. Die Höhenlage des Grundwasserspiegels ist in Höhlengebieten großen Schwankungen unterworfen. Diese Schwankungen bedingen, daß in der trockenen Jahreszeit die höher gelegenen Quellen versiegen (Hungerbrunnen).

3. Durch das Hervorbrechen der Quellen wird dem Grundwasser eine gewisse Bewegung erteilt: es strömt, und zwar vom Innern des Gebirges zur Quelle hin.

Infolge der Strömung, bei der immer neue Wassermengen mit dem Gestein in Berührung kommen, kann das Wasser auch eine gewisse Arbeit leisten. Es trägt zur Höhlenbildung bei, wie wir in dem kommenden Abschnitt sehen werden.

Sechstes Kapitel.

Die Korrosion in Karstgebirgen.

1. Die Auflösung des Kalkes durch Wasser. — 2. Dolomit als Karstgestein. — 3. Bedeutung der Korrosion in Karstgebirgen. — 4. Die unlöslichen Bestandteile der Karstgesteine. — Terra rossa. — Höhlenlehm. — 5. Tropfsteinbildungen in Höhlen. — 6. Bildungsdauer der Tropfsteine. — 7. Alter der Höhlen. — 8. Zusammenfassung.

1. Die Auflösung des Kalkes durch das Wasser. Das Wasser vermag, wie wir bereits öfters hervorgehoben haben, verhältnismäßig leicht die Gesteinsmassen der Kalkgebirge aufzulösen. Ein Teil Kalk löst sich nach Fresenius in 10000 Tln. von kaltem Wasser und in 8834 Tln. siedenden Wassers.

In der Natur haben wir es zumeist mit kaltem Wasser zu tun, welches also eine viel geringere Lösungskraft besitzt. Indessen wurde der angegebene Versuch mit chemisch reinem Wasser (H_2O) angestellt. Nun ist aber das meteorische Wasser, welches in der Natur seine Korrosionstätigkeit in so hohem Maße entfaltet, nicht etwa chemisch rein — nein, es enthält bereits, ehe es als Niederschlag zu Boden fällt, beträchtliche Quantitäten von Kohlensäure (CO_2) gelöst, welche es aus der Luft aufnimmt. Ein Volumen Wasser bei $15^\circ C$ löst etwa ein Volumen Kohlen-

säure. Auch von den gasförmigen Elementen, welche die Luft zusammensetzen, dem Sauerstoff (O) und dem Stickstoff (N), enthält das Wasser etwas, wenn auch nur sehr wenig, gelöst. Der Kohlensäuregehalt des Wassers ist es indessen, welcher die chemische Kraft des Wassers in so hohem Maße unterstützt, daß die gleiche Wassermenge, wenn kohlenstoffführend, ungefähr die 10fache Quantität an Gesteinssubstanz aufzulösen vermag, als reines Wasser.

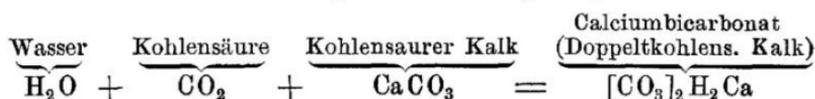
Auch hierüber liegen von Fresenius Beobachtungen vor; mit den vorigen Angaben und einer weiteren von Lassaigue gemachten sind sie in nachstehender kurzen Tabelle vereinigt ¹⁾.

Es lösen 10000 Tle. Wasser:

a) kohlenstofffrei	$\left\{ \begin{array}{l} 15^{\circ} \text{ C} \\ 100 \end{array} \right.$	0,9434 Tle. Kalkcarbonat
		1,132 " "
b) kohlenstoffführend	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 15 \end{array} \right.$	7,0 " "
		10,0 Tle. Kalkcarbonat

(nach Lassaigue)

Der Umstand, daß kohlenstoffführendes Wasser weit mehr löst, als kohlenstofffreies Wasser, findet seine Erklärung darin, daß die Carbonate von Kalk und Magnesia, welche schwerer löslich sind, mit Kohlensäure in leichter lösliche Bicarbonate ($[\text{CO}_3]_2\text{H}_2\text{Ca}$ bzw. $[\text{CO}_3]_2\text{H}_2\text{Mg}$) verwandelt werden. Chemisch wird der Prozeß durch folgende Gleichung ausgedrückt:

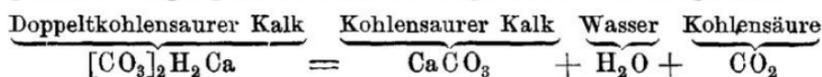


Das Wasser enthält also doppeltkohlenstoffsauren Kalk, dessen Menge natürlich durch die ursprünglich im Wasser enthaltene Quantität an Kohlensäure bedingt ist. Da aber kohlenstofffreies Wasser ebenfalls, wenngleich in viel geringerem Maße das Gestein löst, muß auch einfach kohlenstoffsaure Kalk in jedem im Kalkgebirge durchfließenden Wasser enthalten sein. Neben dem Kalkbicarbonat enthält somit das Wasser auch stets eine gewisse Menge einfach kohlenstoffsauren Kalkes in Lösung.

Das im Wasser gelöste Bicarbonat besitzt die Eigenschaft, leicht in Kohlensäure und Monocarbonat zu zerfallen. Die

¹⁾ Vgl. auch Roth, Allgem. u. chem. Geologie 1, 47 bis 54.

Kohlensäure geht dabei größtenteils in die Luft über. Dieser Vorgang tritt bei Berührung mit Luft, bei Verdunstung, bei Erhitzung usw.¹⁾ ein. Der durch obige chemische Gleichung dargestellte Vorgang findet dabei in umgekehrter Richtung statt:



Da bei diesem chemischen Vorgange das Wasser seinen Kohlensäuregehalt größtenteils einbüßt, muß das zurückbleibende einfache Carbonat (CaCO_3) sich aus dem Wasser niederschlagen. Denn kohlensäurefreies Wasser löst nur sehr beschränkte Quantitäten kohlensauren Kalkes, und diese lösliche Menge des einfach kohlensauren Kalkes war bereits neben dem doppeltkohlensauren Kalk im Wasser gelöst enthalten, bevor noch die Kohlensäure sich ausschied. Daher muß sich das gesamte durch Kohlensäureabscheidung sekundär gebildete einfache Carbonat als fester Körper aus der Lösung niederschlagen. Solche Niederschläge werden Kalksinter, Kalktuff, Kesselstein usw. genannt. Der Tropfstein der Höhlen ist, wie wir sehen werden, ein gleichartiges Gebilde.

Diese Vorgänge können wir nun, wie folgt, zusammenfassen: Das Wasser vermag einfach kohlensauren Kalk aufzulösen und zwar ungefähr im Verhältnis 10000:1; wenn es aber Kohlensäure enthält, so kann es unter Umständen die 10fache Menge an kohlensaurem Kalk auflösen. Denn die freie Kohlensäure besitzt die Fähigkeit, sich mit weiteren Mengen kohlensauren Kalkes zu doppeltkohlensaurem Kalk zu vereinigen, welcher im Wasser bei weitem leichter löslich ist. Das Wasser enthält nun neben einfach kohlensaurem Kalk doppeltkohlensauren Kalk in Lösung. Da der letztere aber keine sehr beständige chemische Verbindung ist, so vermag er es leicht, die Kohlensäure wieder auszuscheiden, so daß einfach kohlensaurer Kalk, weil schwer löslich, von neuem ausgeschieden wird. So bildet sich der Kalksinter.

In der Natur ist das im Gebirgsinnern befindliche Wasser nur im Ausnahmefall (bei den kohlensäureführenden Mineral-

¹⁾ Auch die Ausscheidung der Schalen von Organismen beruht ganz auf dem gleichen Vorgang.

wässern) völlig mit Kohlensäure gesättigt. Die gewöhnlichen Wasser führen nur sehr beschränkte Quantitäten von Kohlensäure; daher wirkt auch die korrodierende Kraft des Wassers in weit geringerem Maße, als man aus den in obenstehender Tabelle angegebenen Maximalwerten für die Löslichkeit des Kalkes schließen könnte.

Um zu ermitteln, wieviel das Wasser, welches ein Karstgebirge durchsickert an Gestein aufzulösen imstande ist, ließ Verf. den Verdampfungsrückstand desjenigen Wassers abwägen, welches von der Decke einer Höhle in der Fränkischen Schweiz herabträufelte. Das Wasser hatte seinen Weg durch das Gestein genommen und war dementsprechend als mit gelöstem Gesteinsmaterial gesättigt anzusehen. Der Verdampfungsrückstand betrug pro Liter 0,3624 g. Dieser Gehalt an gelöstem Gestein entspricht also nur dem dritten Teile dessen, was das Wasser zu lösen imstande ist, wenn es mit Kohlensäure gesättigt wäre.

2. Dolomit als Karstgestein. Alles im vorigen Abschnitt bezüglich der chemischen Löslichkeit des Kalkes Gesagte gilt im gleichen Maße auch von Dolomit. Der Dolomit ist eine Doppelverbindung von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia, nämlich $[\text{CO}_3]_2 \text{Mg} \cdot \text{Ca}$; in Gewichtsprozenten ausgedrückt besteht der Dolomit aus 54,23 Proz. CaCO_3 und 45,77 Proz. MgCO_3 .

Wie eine Reihe von Untersuchungen von Professor E. von Gorup-Besanez ¹⁾ gezeigt haben, beträgt der durchschnittliche Gehalt der Quellen an gelöstem Gestein im Dolomitgebirge der Fränkischen Schweiz etwa 0,26 g pro Liter. Der Dolomit besitzt also in der Natur die gleiche Löslichkeit wie der Kalk.

Demgegenüber steht nun eine noch vielfach verbreitete, jedoch durchaus irrige Ansicht, daß der Dolomit ein schwer lösliches Gestein ist. Diese Meinung stützt sich zum Teil auf die Erfahrung, daß der Dolomit von verdünnten Säuren nicht so leicht angegriffen wird als der Kalk ²⁾. Was aber bezüglich des

¹⁾ E. v. Gorup-Besanez, Über dolomitische Quellen des Frankensjura. Ann. d. Chem. u. Pharm. 8, Supplementband 1872.

²⁾ Bekanntlich beruht auf diesem Verhalten des Dolomites verdünnten Säuren gegenüber das gewöhnliche Unterscheidungsmittel von äußerlich oft genau ebenso aussehenden Kalken, dessen sich der Geologe bei seinen Studien im Freien bedient. Der Kalk wird bei

Verhaltens des Dolomites verdünnten Säuren gegenüber gilt, ist nicht ohne weiteres auf das Wasser zu übertragen. Denn die Analysen beweisen, daß der Dolomit von Wasser ebenso aufgelöst wird wie der Kalk.

Vielfach ist auch die Meinung geäußert worden, daß der Dolomit keine feste chemische Doppelverbindung ist, sondern daß er eine Mischung der Carbonate von Kalk und Magnesia sei. Von dieser Meinung ausgehend wurde die Theorie aufgestellt, daß das Wasser dem Dolomit nur das Kalkcarbonat entzieht, während es das Magnesiacarbonat zurückläßt. Nicht nur von älteren Autoren ist dies behauptet worden, sondern auch in neuester Zeit tritt uns diese falsche Auffassung immer wieder entgegen. So lesen wir in Grunds Karsthydrographie bezüglich des Dolomites folgendes¹⁾: „Bisher wurde der Dolomit zumeist zu den karstbildenden Gesteinen gerechnet, zum Teil mit Recht, zumeist aber mit Unrecht. Der Dolomit ist ein Gemenge von Kalk- und Magnesiacarbonat. Ersteres ist in Wasser chemisch löslich, das letztere bildet bei der Zerstörung des Dolomites einen unlöslichen Grus.“

Der Dolomit ist aber erstens keine Mischung von beiden Carbonaten, sondern eine feste Doppelverbindung. Das geht aus der prozentual gleichmäßigen chemischen Zusammensetzung der Dolomite hervor. Die von E. v. Gorup-Besanez gegebene Analyse zweier Dolomite aus Franken ergab beispielsweise

57,32	Proz. bzw.	57,21	Proz.	kohlensäuren Kalk
und 42,68	„	„	42,79	„ kohlensaure Magnesia.

Diese Zusammensetzung entspricht also ungefähr derjenigen des Normaldolomites von je einem Molekül Kalkcarbonat und

Berührung mit verdünnter Salzsäure stets zersetzt, so daß Kohlensäure frei wird, welche in dem zur Probe ausreichenden Salzsäuretropfen in kleinen Bläschen heftig aufbrausend entweicht. Anders verhält sich der Dolomit; dieser wird beim Befeuchten mit verdünnter Säure nicht zersetzt, infolgedessen findet auch kein Aufschäumen in dem Säuretropfen statt.

¹⁾ Wir glauben diese Stelle hier zitieren zu müssen, weil sie in kurzen Worten die noch weit verbreitete, aber durchaus irrige Ansicht über den Dolomit kennzeichnet. Als höhlenbildendes Gestein, also als Karstgestein wird es negiert; trotzdem finden sich aber in vielen Dolomitgebirgen oft ganz besonders zahlreiche Höhlen; so z. B. in der Fränkischen Schweiz.

Magnesiacarbonat, deren Gewichtsverhältnis 54,23 Proz. kohlen-sauren Kalk und 45,77 Proz. kohlensaure Magnesia ergeben würde. Etwas Kalk ist, wie es scheint, dem normalen Dolomit — also der Doppelverbindung beider Carbonate — in der Natur stets beigemischt.

Dem Umstande entsprechend, daß der Dolomit keine Mischung zweier Carbonate, sondern eine feste chemische Doppelverbindung ist, wird auch nicht etwa, wie Grund angibt, der eine der beiden Bestandteile, das Kalkcarbonat, allein gelöst. Vielmehr haben alle bisher ausgeführten Analysen — und deren liegen eine Menge vor — ergeben, daß beide im Dolomit vereinten Carbonate gleichmäßig gelöst werden. So hat E. v. Gorup-Besanez des weiteren festgestellt, daß die im Quellwasser gelöst enthaltenen Carbonate von Kalk und Magnesia in den Wassern der Fränkischen Schweiz sich im Durchschnitt prozentual wie 58,71:41,29 verhalten — also wiederum das gleiche Verhältnis beider Carbonate auch in der Lösung des Gesteins im Quellwasser! Die grundlegenden diesbezüglichen Untersuchungen von E. v. Gorup-Besanez fanden auch in anderen Gebieten als der Fränkischen Schweiz ihre Bestätigung. Mithin ist auch die so oft ausgesprochene Ansicht bezüglich der Unlöslichkeit des Dolomites, als solchen, weil mit den Tatsachen nicht übereinstimmend, von der Hand zu weisen.

Da nach dem Gesagten der Dolomit im gleichen Maße im Wasser löslich ist, wie der Kalk, so muß auch der Dolomit als Karstgestein angesehen werden, wie dies denn auch in den vorhergehenden Seiten unsererseits geschehen ist. So haben wir denn auch in dem großen Dolomitgebirge der Fränkischen Schweiz gerade ein echtes Karstgebirge; es ist das größte Höhlengebiet Deutschlands.

3. Die Bedeutung der Korrosion in Karstgebirgen.

Die großen Mengen Wassers, welche in den zahlreichen Quellen aus dem Gebirge hervortreten, können nach dem, was wir über die Löslichkeit der Karstgesteine erfahren haben, in den Karstgebieten naturgemäß nicht chemisch reines Wasser sein; vielmehr ist das Quellwasser mit denjenigen Mineralbestandteilen beladen,

welche das Wasser auf seinem Wege durch das Gestein aufzulösen vermochte

In den Karstgesteinen, den Kalken und Dolomiten, führt das Quellwasser stets beträchtliche Quantitäten an kohlensaurem Kalk bzw. kohlenaurer Magnesia. Dieser im Quellwasser vorhandene Gehalt an jenen Carbonaten gibt ein Maß für die chemische Tätigkeit des Wassers, die Korrosion, innerhalb des Gebirges, oder — was dasselbe bedeutet — ein Maß für die Höhlenbildung.

Denn die von Mineralbestandteilen freien Wasser der Niederschläge dringen in die Tiefe, lösen vom Gestein eine gewisse Quantität auf, welche von den Quellbächen alsdann fortgetragen wird. Da auf diese Weise andauernd Substanz dem Gebirge entzogen wird, müssen sich in dessen Innern Hohlräume bilden; so entstehen die Höhlen.

Wieviel an Substanz vermögen nun die Quellen alljährlich dem Gebirge zu entführen? — Leicht ist diese Frage zu lösen, wenn die mittlere Wassermenge einer Quelle und der Gehalt derselben an gelösten Mineralbestandteilen bekannt ist.

Die Menge des im Quellwasser gelöst Enthalteneu ist unschwer zu ermitteln, indem man eine bestimmte Quantität des Wassers verdampfen läßt. Die im Wasser gelösten Gesteinsmengen bleiben hierbei in der Verdampfungsschale als feste Substanz — als sogenannter „Kesselstein“ — zurück.

So hat sich ergeben, daß jedes Liter eines dem Kalk- bzw. Dolomitgebirge entströmenden Wassers im Mittel etwa 0,25 g gelöste Substanz enthält. In den Karstgebieten enthält somit ein Kubikmeter Quellwasser $\frac{1}{4}$ kg an gelöster Gesteinssubstanz. Da das spezifische Gewicht des Gesteines etwa 2,6 ist, so beträgt das Volumen von $\frac{1}{4}$ kg 0,000 096 cbm. Die Quantität des Wassers, welches einer Quelle entströmt, ist meist in „Sekundenlitern“ (n) angegeben. Man muß daher die Zahl n mit dem Gewicht a der in 1 Liter Wasser gelösten Gesteinsmenge (ausgedrückt in Gramm) und der Anzahl der Sekunden eines Jahres multiplizieren, um die Gesteinsquantität Q zu ermitteln, welche von der Quelle alljährlich dem Gebirge entzogen wird. Er ist also dann

$$Q = n \cdot a \cdot 31\,536 \text{ kg.}$$

Wie bereits gesagt, beträgt a durchschnittlich 0,25; es ist mithin im allgemeinen $Q = n \cdot 7884 \text{ kg.}$

Ohne weiteres ist hieraus zu ersehen, daß die Größe Q eine recht bedeutende ist.

So entzieht z. B. der Timavo, jene Riesenquelle, welche am Rande des Krainer Karstes nordwestlich von Triest hervorbricht und durchschnittlich nicht weniger als 2 300 000 cbm pro Tag — also **26 620** Sekundenliter — führt, dem Gebirge im Jahre 210 000 000 kg Gestein. Die dem unterirdischen Zuzugsgebiet der Timavoquellen alljährlich entzogenen 210 000 000 kg Gesteinsmaterial nehmen ein Volumen von 80700 cbm ein. Es bilden sich somit innerhalb des Zuzugsgebietes der Timavoquellen Jahr für Jahr Hohlräume, deren Gesamtvolumen über 80 000 cbm beträgt, welche also den Raum eines Würfels von 43 m Kantenlänge einnehmen würden.

Die größte Quelle Deutschlands befindet sich im Gebiete des Schwäbischen Jura, und zwar am Südrande desselben; es ist die Quelle der Hegauer oder Radolfzeller Aach, welche nach kurzem Lauf in den unteren See sich ergießt. Die Aachquelle entführt dem kalkigen Juragebirge im Durchschnitt etwa 7000 Sekundenliter Wasser, und pro Tag nicht weniger als 151 000 kg Gestein. Im Jahre beträgt somit der unterirdische Substanzverlust des Gebirges etwa 55 000 000 kg (1 102 300 Ztr.). Da je 52 Ztr. 1 cbm des Gesteinsvolumens entsprechen, so müssen sich alljährlich im unterirdischen Zuzugsgebiet der Aachquelle Hohlräume bilden, deren Gesamtvolumen etwa 21 000 cbm beträgt.

Diese beiden Beispiele (Timavoquellen und Aachquelle) geben einen Begriff von der hohen Bedeutung der Korrosionskraft des Wassers für die unterirdische Abtragung der Gebirge — also für die Höhlenbildung. — Wir müssen aber ausdrücklich betonen, daß diese Beispiele nicht etwa als Ausnahmen anzusehen sind. Dies könnte nur hinsichtlich der Größe der Quellen gelten; nun entwässern aber die großen Quellen auch große Gebiete, während kleine Quellen nur viel kleinere Zugangsgebiete besitzen. Die Entwässerung eines großen Karstgebietes, welche in den angegebenen Fällen durch jene vereinzelt Riesenquellen geschieht, wird im allgemeinen durch eine größere Anzahl von kleineren Quellen ausgeführt. Die Summe der von letzteren fortgeführten Gesteinssubstanz ist jedoch durchaus entsprechend der jener großen Quellen.

Die chemische Beschaffenheit des Quellwassers belehrt uns über die ungeheure Bedeutung der Korrosion in der Geologie. Da nun die Korrosion die chemische Ursache der Entstehung jener Hohlräume im Gebirge ist, mit welchen die Höhlenkunde sich befaßt, so muß hier der Vorgang der Korrosion eine eingehendere Erörterung finden.

Da infolge der Vertikalentwässerung oberflächlich fließendes Wasser in echten Karstgebieten nur von untergeordneter Bedeutung ist oder gar ganz fehlt, so kann die Korrosion auch kaum, vielfach sogar gar nicht, an der Oberfläche stattfinden.

In den Karstgebieten haben wir somit ganz vorherrschend unterirdische Korrosion; daher ist die Korrosion in Karstgebieten ihrer Hauptsache nach gleichbedeutend mit Höhlenbildung.

4. Die unlöslichen Bestandteile der Karstgesteine.

Vielfach kommen Dolomite und Kalke vor, deren petrographische Beschaffenheit der Verkarstung ungünstig ist. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn bei der Auflösung des Gesteines ein unlöslicher Grus zurückbleibt, welcher durch Verstopfung der Spalten und Klüfte dem Wasser den Weg in die Tiefe verlegt. Dann kann die Verkarstung naturgemäß nicht fortschreiten. Nun findet sich vielfach in den Gesteinen ein unlöslicher Rückstand, welcher aus tonigem und sandigem Material, sowie aus den im Wasser unlöslichen Oxyden und Carbonaten von Eisen, Mangan usw. zusammengesetzt ist.

Rot gefärbt durch den Eisengehalt kommt die „unlösliche Asche“ der Karstgesteine, die „**Terra rossa**“ (rote Erde) sowohl in Kalk- wie auch in Dolomitgebirgen vor. Die Terra rossa, welche sich namentlich in den natürlichen Vertiefungen der Karstgebiete oft in ganz beträchtlicher Menge ansammelt, ist ein sichtbarer Zeuge der Korrosionstätigkeit des Wassers, welche den Kalk, bzw. Dolomit entfernt hat, so daß nur die unlöslichen Verunreinigungen dieser Gesteine übrig geblieben sind.

Was die Terra rossa an der Oberfläche der Karstgebiete ist, das gleiche ist der **Höhlenlehm** im Innern der Gebirge. Auch er ist nichts anderes, als der unlösliche Rückstand des Gesteines, welcher zurückgeblieben ist, als die Höhle durch die korrodierende Kraft des Wassers geschaffen wurde. In einer jeden Höhle be-

gegnet man am Boden jenem braunen bis braunroten tonigen Gebilde.

Der unlösliche Rückstand der Karstgesteine ist im Verhältnis zu der vom atmosphärischen Wasser aufgelösten Gesteinsmasse ein sehr kleiner; zumeist beträgt er nur Bruchteile von Prozenten. Es müssen also beträchtliche Gesteinsmengen von der Korrosion entfernt sein, bevor die Terra rossa in solchen Mengen sich niederschlagen konnte, wie wir sie in den Karstländern finden. Wenn wir indessen bei den Karstgesteinen den sehr kleinen Betrag von nur $\frac{1}{10}$ Proz. als unlöslich annehmen — eine Zahl, die wohl weit unter dem Durchschnitt steht — so würde das Gewicht der unlöslichen Asche der Karstgesteine, welche beispielsweise alljährlich in dem Zuzugsgebiet des Timavo sich bildet, auf etwa 200 000 kg zu veranschlagen sein.

Dies Beispiel zeigt, daß auch die Quantität an unlöslichen Bestandteilen der Karstgebirge, welche Jahr um Jahr frei wird, doch immerhin eine recht beträchtliche ist. Es kann somit auch nicht verwunderlich erscheinen, daß sich in den Höhlen so beträchtliche Mengen von Höhlenlehm finden.

Der Höhlenlehm wiederum ist zweierlei Herkunft: primär oder sekundär. Als primär bezeichnen wir den Höhlenlehm, der sich als unlöslicher Rückstand aus dem, den jetzigen Höhlenraum dereinst erfüllt habenden Gestein bei dessen Auflösung niedergeschlagen hat. Als sekundär ist der durch Gesteinsspalten in die Höhle eingeschwemmte Höhlenlehm zu bezeichnen.

Beide Arten von Höhlenlehm finden sich indessen stets in den Höhlen vermischt, so daß der Unterschied zwischen beiden — sekundären und primären Höhlenlehm — nur aus rein theoretischen Gründen zu machen ist.

5. Die Tropfsteinbildung in Höhlen. Die Höhlen, welche das Wasser im Gestein sich gebildet hat, sind stets mit Luft erfüllt. Je weiter nun der Höhlenbildungsprozeß fortschreitet, desto mehr werden die Verbindungsspalten der Höhle mit der Oberfläche erweitert und desto besser wird daher die Ventilation. Infolge der erhöhten Ventilation kann in der Höhle alsdann auch Verdunstung der eindringenden Sickerwasser eintreten, welche bei mangelhafter Ventilation wegen des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Höhlenluft unterbleiben würde.

Da nun die in die Tiefe dringenden Wasser nichts anderes sind, als für ihre Temperatur und ihren Kohlensäuregehalt gesättigte Lösungen von Kalk, bzw. Dolomit, so muß mit der Verdunstung eine Neuausscheidung von Gestein verbunden sein. Solche Ausscheidungen von Kalksinter¹⁾ oder Höhlensinter finden sich in sehr vielen Höhlen: es sind die **Tropfsteine**, jene eigenartigen Gebilde, deren oft schneeweißer Glanz die Höhlen so märchenhaft schön erscheinen läßt. Die Tropfsteinbildung ist also von dem Umstande abhängig, ob in der Höhle Verdunstung eintreten kann oder nicht. Dieser Umstand erklärt auch in einfachster Weise, warum jene Höhlen, welche größere Wasseransammlungen enthalten oder von Flüssen durchströmt werden, an Tropfsteingebilden so arm sind, oder gar ihrer völlig entbehren.

Der Vorgang der Tropfsteinbildung ist kurz folgender: Jeder an der Decke der Höhle aus den oft winzigen Spalten hervorsickernde Tropfen überzieht sich infolge der Verdunstung mit einem feinen Häutchen von kohlensaurem Kalk. Wenn schließlich der Tropfen durch neuen Wasserandrang so schwer wird, daß er herabfällt, dann reißt das Kalkhäutchen und sein größerer Teil fällt mit dem Tropfen zu Boden, während nur der kleine Rand jenes Häutchens an der Decke zurückbleibt.

Der zu Boden fallende Tropfen zerstiebt und verdunstet. Dabei scheidet er auch den Rest seines Kalkgehaltes aus, welcher sich am Höhlenboden als Kalksinter niederschlägt. Dieser Vorgang wiederholt sich andauernd. So häuft sich am Boden der Höhle, namentlich an den Stellen, auf welche die von der Decke herabträufelnden Tropfen aufschlagen, ständig Höhlensinter an, während gleichzeitig an der Decke zierlich gebaute zapfenartige Tropfsteine sich bilden, die aus den Resten jener Millionen von feinen Kalkhäutchen hervorgegangen sind, die einen jeden Wassertropfen umfaßt haben. **Stalaktiten** werden jene von der Decke herabhängenden eiszapfenartigen Kalkausscheidungen ge-

¹⁾ In Dolomitgebirgen ist der Höhlensinter naturgemäß magnesiaführend; es scheint jedoch stets freier kohlensaurer Kalk in den Tropfsteinen vorzuherrschen. Genauere Untersuchungen hierüber wären am Platze.

nannt. Ihnen wächst vom Boden aus ein zweiter Tropfstein entgegen, welcher als **Stalagmit** bezeichnet wird ¹⁾).

Die Stalaktiten sind zumeist ziemlich gleichartig gestaltet; ihre übliche Form ist die einer dünnen Röhre. Die röhrenförmige Gestaltung ist darauf zurückzuführen, daß der Stalaktit aus den Resten jener feinen Kalkhäutchen aufgebaut wird, die einen jeden Tropfen bei der Verdunstung überziehen. Die Tropfen haben naturgemäß eine runde Gestalt. Wenn nun der Tropfen herabfällt, reißt er den größten Teil des Kalkhäutchens mit sich, und nur dessen feiner, an die Höhlendecke grenzender, kreisrunder Saum bleibt dort hängen. So ist es zu erklären, daß die Überreste der unzähligen dort herabfallenden Tropfen sich allmählich zu einem röhrenförmig gestalteten Stalaktiten zusammensetzen.

Abgesehen von dem zuvor schon erwähnten Längenwachstum der Stalaktiten findet auch ein Dickenwachstum statt. Dies geschieht, indem sich um die ursprünglich angelegte Stalaktitenröhre neuer Kalksinter absetzt. Die zahlreichen aus der Decke hervortretenden Tropfen fließen der niemals völlig wagerechten Decke entlang, bis sie an einem der Stalaktitenröhrchen herablaufen, wobei sie diesen mit Kalksinter überkleiden. Durch beständiges Dickenwachstum können die Stalaktiten auch des öfteren recht beträchtliche Dimensionen annehmen. Meist kann man aber bei Zerschlagen dieser Tropfsteine in deren Innern das ursprüngliche Röhrchen erkennen, aus dessen Sinterumkleidung sie sich gebildet haben. Mitunter ist aber auch diese Röhre nicht mehr vorhanden, weil sie mit neu ausgeschiedenem Kalksinter wieder ausgefüllt ist.

Die Stalagmiten sind im Gegensatz zu den Stalaktiten meist viel größer und dicker; denn sie sind aus dem Kalkgehalt des gesamten vom Stalaktiten herabfallenden Wassertropfens, einschließlich des größten Teiles jenes Kalkhäutchens, gebildet, welches von den herabfallenden Tropfen des Stalaktiten mitgerissen wurde.

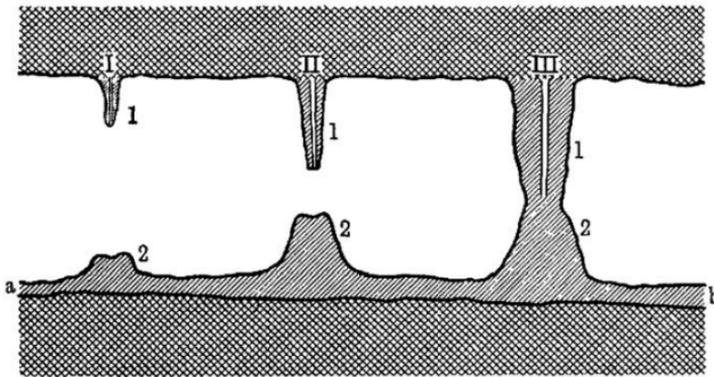
Durch standiges Längenwachstum des Stalaktiten einerseits, des Stalagmiten andererseits, vereinigen sich schließlich beide zu

¹⁾ Die Namen Stalaktiten und Stalagmiten entstammen dem Griechischen; *σταλακτιός* tröpfelnd, *σταλαγμός* das Getröpfel.

einer einzigen Säule, längs deren das Wasser herablaufend seinen Kalkgehalt immer weiter ausscheidet.

Die Tropfsteingebilde können die eigenartigsten Formen annehmen. Namentlich sind dies die am Boden und an den Wänden der Höhlen befindlichen. Am Boden entstehen Sinterdecken, wenn das kalkausscheidende Wasser sich gleichmäßig ausbreiten kann. Sinterwannen bilden sich am Rande kleiner Tümpel, welche die Bodenunebenheiten ausfüllen. In diesen kleinen mit Wasser erfüllten Sinterbecken scheidet sich zuweilen das sogenannte Teufelskonfekt aus. Unter diesem Namen versteht man kleine, kugelige mit Warzen und Buckeln versehene Gebilde

Fig. 1.



Schematisches Profil durch drei Tropfsteine in einer Höhle.
I und II Jugendstadien, (1) Stalaktiten, (2) Stalagmiten. III (1) und (2) zu einer Säule vereinigt. a b eine Sinterdecke.

von Kalksinter, welche irgend einen Fremdkörper, ein Gesteinstückchen usw. umschließen.

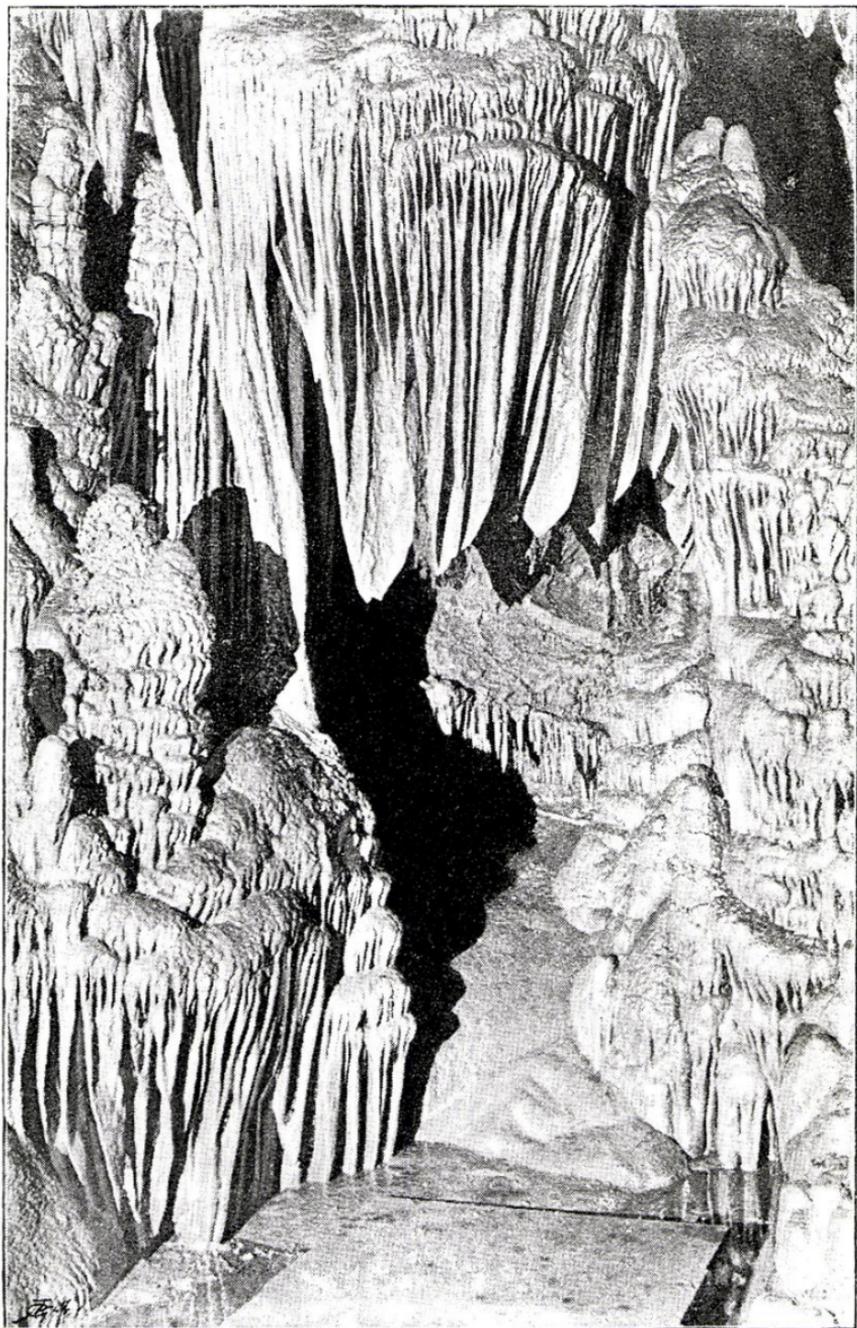
Wenn an den Wänden der Höhle das Wasser herabrieselt, scheidet es seinen Kalkgehalt als eine Wandbekleidung ab. Sind an der Wand kleine Unebenheiten, so werden diese oft zum Ausgangspunkt einer Stalaktitenbildung. Die zahlreichen Zapfen, welche nebeneinander herabhängen, vereinigen sich zuweilen infolge ständigen Dickenwachstums, so daß Tropfsteingebilde entstehen, welche einem Wasserfall nicht unähnlich sehen. Versteinerte Wasserfälle werden sie daher auch genannt.

Die Tropfsteine können überhaupt die eigenartigsten Formen annehmen. Die naive Phantasie des Höhlenführers weiß sie oft

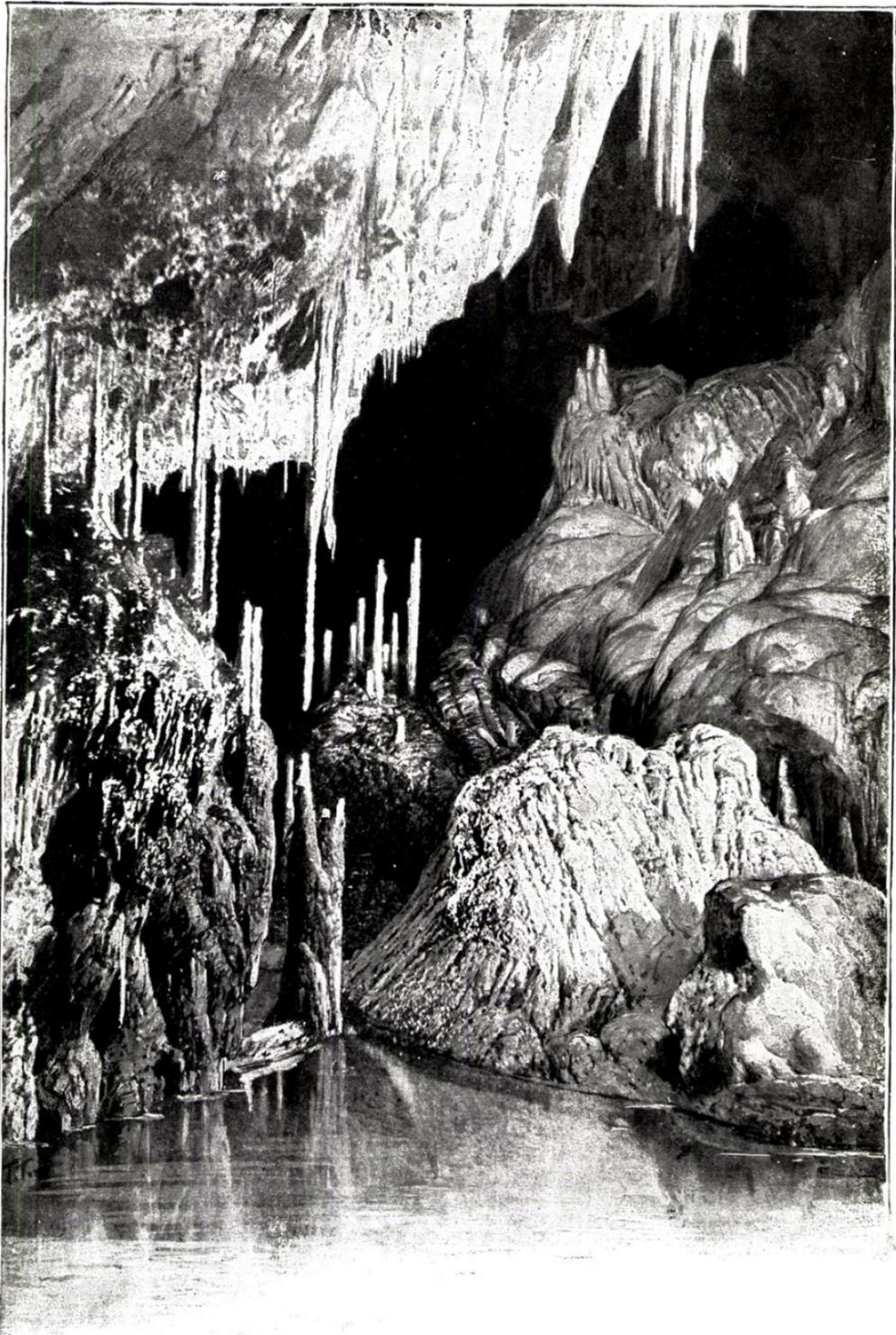
mit den merkwürdigsten Gegenständen des täglichen Lebens zu vergleichen. Die auf den beiden Tafeln gegebenen Abbildungen (Fig. 2 und 3) zeigen trefflich die eigenartigen Tropfsteinformen. Fig. 2, ein Bild aus der Laurayhöhle (Virginia), stellt neben anderen Tropfsteingebilden, die als „versteinerte Wasserfälle“ bezeichneten Wandverkleidungen dar. Die zweite Tafel (Fig. 3), einen Teil der Grotte von Dargilan (Causse noire) wiedergebend, zeigt besonders fein die oft so zierlichen Stalaktiten. Im Hintergrunde (rechts) befinden sich einige der mehr massigen Stalagmiten.

Hinsichtlich des Verhältnisses zwischen der Menge des Kalkes, welche in den Höhlen als Kalksinter ausgeschieden wird, und der gesamten vom Wasser gelösten Gesteinsmasse liegen bisher keine zusammenfassenden Beobachtungen vor. Hierüber geben indessen die in der Maximilianshöhle bei Krottensee in der fränkischen Schweiz gemachten Beobachtungen Aufschluß. In dieser Höhle befindet sich ein See, welcher nichts anderes als Grundwasser ist, bis zu welchem die Höhle hinabreicht. Der Gehalt dieses Wassers an gelöstem Gesteinsmaterial entsprach denn auch genau dem des Grundwassers jener Gebiete, welches in den Quellen zutage tritt; ein Liter enthielt 0,2589 g gelöstes Gestein. Das Wasser aber, welches von den Stalaktiten der Höhle herunterträufelt, ist bei weitem kalkreicher, denn der Verdampfungsrückstand betrug pro Liter 0,3624 g. Da auch die Tropfwasser anderer Höhlen den annähernd gleichen Verdampfungsrückstand besitzen, gelangen wir zu dem folgenden Ergebnis: Ungefähr ein Drittel dessen, was das Wasser unter normalen Verhältnissen vom Gestein zu lösen imstande ist, wird im Gebirge selbst wieder als Höhlensinter ausgeschieden, während zwei Drittel in das Grundwasser übergehen.

6. Bedeutung der Tropfsteinbildung in der Entwicklung der Höhlen. Wir haben erkannt, daß die Tropfsteinbildung von der Verdunstung in der Höhle abhängig ist. Diese tritt ein, sobald durch Erweiterung der engen Spalten, welche die Höhle mit der Erdoberfläche verbindet, genügende Ventilation geschaffen ist. Wir müssen demnach zwei Stadien der Entwicklung einer Höhle voneinander trennen. Das erste Stadium ist die Entstehung der Höhle, das zweite, durch



„Thron“ und „Kathedrale“ in der Luray-Höhle.



Der „Springbrunnensaal“ in der Grotte von Dargilan.

einen entgegengesetzt wirkenden Vorgang gekennzeichnete Stadium, ist die Ausfüllung der Höhlen mit neu ausgeschiedenem Gestein, mit Tropfsteingebilden.

Hiermit ist indessen keineswegs gesagt, daß der Beginn der Tropfsteinbildung durchaus das Ende des Höhlenbildungsvorganges überhaupt anzeigt. Die Höhlenbildung kann neben der Kalksinterbildung vor sich gehen, wenn sie auch durch letztere in ihrem Gesamtanteil an der Abtragung eines Gebirges beschränkt wird. Dies zeigt die chemische Beschaffenheit des Grundwassers an. Wir haben im ersten Abschnitt dieses Kapitels gesehen, daß das in den Quellen zutage tretende Grundwasser im Durchschnitt 0,25 g an gelöstem Gestein pro Liter enthält. Diese Gesteinsmasse wird also dem Gebirge tatsächlich entzogen. Da wir aber trotzdem innerhalb des Gebirges in vielen der Höhlen den Vorgang der Tropfsteinbildung beobachten können, so müssen wir den Schluß ziehen, daß in den den Höhlen benachbarten Gebieten die Höhlenbildung fortschreitet. Die korrodierenden Kräfte vermögen weit eher neue Höhlungen zu schaffen, als schon vorhandene zu erweitern.

Nach dem Gesagten behält auch der oben angeführte Satz, daß in der Höhlenentwicklung zwei Stadien zu trennen sind, deren eines durch die Höhlenbildung, deren anderes durch die Tropfsteinbildung gekennzeichnet ist, seine allgemeine Gültigkeit. Denn die alten Höhlen, welche zumeist durch stärkere Ventilation ausgezeichnet sind, dienen vornehmlich als Absatzorte des Kalksinters. In ihrer unmittelbaren Nachbarschaft kann jedoch die Korrosion spaltenerweiternd — also höhlenbildend — wirken.

Ausgezeichnet ist dies beispielsweise an der berühmten Grotte von Adelsberg zu beobachten. Dieselbe teilt sich nahe ihrem Eingange in zwei Arme, von denen der eine, tiefer gelegene, das heutige unterirdische Bett der Poik bildet, während der andere, höher gelegene das ehemalige Bett dieses Flusses gewesen ist. Dadurch, daß die Korrosion sich Spalten im Gestein zu einer anderen, tiefer gelegenen Höhle erweiterte, wurde die Poik nach und nach in ihr neues Bett geleitet, während ihr altes austrocknete.

In der alten Höhle haben sich nun die Tropfsteinbildungen in geradezu erstaunlicher Fülle angesammelt, während in der neuen Höhle kaum ein einziger Tropf-

stein zu finden ist. Während hier die Korrosion eine große Wasserhöhle gebildet hat, ist dort in unmittelbarer Nähe keine Spur von jüngerer Höhlenbildung zu beobachten, sondern nur das Gegenteil davon, die Höhlenausfüllung durch Kalksinter. Die alte Höhle befindet sich in dem zweiten Stadium der Höhlenentwicklung, in welchem Sinterbildung stattfindet, ein Stadium, das die junge Höhle noch nicht erreicht hat.

Wer einmal Gelegenheit hatte, diese Erscheinung an diesem besonders auffallenden Beispiel zu beobachten, der wird das gleiche auch bei vielen anderen Höhlen wiederfinden; der wird erkennen, daß dieselbe Kraft, die Korrosion unmittelbar nebeneinander hier neue Höhlen schafft, dort alte Höhlen wieder ausfüllt, daß also durch die Tropfsteinbildung ein neues, zweites Stadium der Höhlenbildung eingeleitet wird.

7. Die Bildungsdauer der Tropfsteine. Oft nehmen die Tropfsteine, insonderheit die Stalagmiten, ganz gewaltige Dimensionen an. So finden sich beispielsweise in der Adelsberger Grotte solche von mehr als 5 m Höhe und 2 bis 3 m im Durchmesser. Angesichts dieser gewaltigen Kalksinterbildungen möchte man wohl die Frage erheben: Wieviel Zeit ist vergangen, bis derartige Tropfsteine sich gebildet haben? Niemand vermag indessen diese Frage zu beantworten.

Wir müssen von vornherein betonen, daß alle Versuche, etwa aus der Anzahl der Tropfen in der Zeiteinheit und deren Kalkgehalt und dem Volumen der betreffenden Tropfsteingebilde die Bildungsdauer der Tropfsteine zu ermitteln, als wertlos zu bezeichnen sind. Denn alle diese noch so genau angestellten Berechnungen gehen von der Voraussetzung aus, daß die Tropfsteinbildung ebenso wie jetzt so auch in früheren Zeiten unverändert vor sich gegangen sei. Dies ist aber eine, wie gleich gezeigt werden soll, durchaus irrige Annahme.

Denn einmal können niederschlagsreiche Zeiten kommen, in welchen kalkführendes Wasser reichlich herniederträufelt, und infolgedessen viel des Kalkes absetzt — umgekehrt können aber auch Perioden eintreten, in welchen weniger Niederschläge den Boden treffen, in welchen eine geringere Wasserzufuhr, mithin auch eine geringere Kalksinterbildung stattfindet.

Aber selbst wenn wir von den Einflüssen der im Laufe langer Zeiten oftmals eintretenden Schwankungen in den Niederschlagsmengen eines Gebietes absehen wollten, dann käme noch ein zweiter Umstand hinzu, welcher einer Berechnung der Bildungsdauer der Tropfsteine entgegensteht: das ist der Umstand, daß die Kalkausscheidung oft geraume Zeit stagnieren kann, weil die Ritzen, aus welchen das kalkführende Wasser herniederträufelt, zuweilen dadurch verstopft werden können, daß sich in ihnen bereits Kalk absetzt, ehe es hervortritt.

In den großen Höhlen könnte man nach Hunderten und Tausenden Tropfsteine zählen, von welchen nicht ein einziger Tropfen mehr herabfällt, weil die Öffnungen in ihnen, aus welchen das Wasser hervortrat, von dem ausgeschiedenen Kalksinter verstopft sind.

Denken wir uns aber eine nur ganz minimale Erderschütterung — wie solche in Höhlen durch Einsturzvorgänge ja leicht auftreten — dann können die winzig feinen Spalten sich wieder von neuem öffnen und es wird dann nach langer Zeit der Ruhe die Tropfsteinbildung von neuem einsetzen.

Aus diesen Erwägungen geht hervor, daß es ein eitles Unterfangen ist, die Bildungsdauer der Tropfsteine zu berechnen. Höchstens könnte man aus der Masse des Tropfsteines einen Schluß auf die Anzahl der Tropfen ziehen, die ihn gebildet. Aber auch dieser Schluß ist nicht einwandfrei, da nicht jeder Tropfen seinen gesamten Kalkgehalt absetzt. Wenn nämlich die Verdunstung nur eine partielle ist, so verdunstet nur ein Teil der Wassertropfen, also scheidet sich nur ein viel kleinerer Teil von Tropfstein aus, als dann, wenn die Verdunstung eine vollkommene ist. Es läßt sich also weder die Anzahl der Tropfen berechnen, welche erforderlich sind, um einen Tropfstein von bestimmter Größe zu bilden, noch läßt sich die Zeit berechnen, in welcher ein solcher zum Absatz gelangt. Diese den Laien namentlich so oft beschäftigende Frage nach dem Alter läßt sich von wissenschaftlicher Seite durchaus nicht beantworten. Und wir haben es daher überhaupt unterlassen, irgendwelche Berechnungen anzustellen.

8. Das Alter der Höhlen. Dasselbe, was im vorigen Abschnitt bezüglich der Bildungsdauer der Tropfsteine gesagt

wurde — nämlich daß es sich rechnerisch nicht ermitteln lasse — genau dasselbe muß auch bezüglich des Alters der Höhlen selbst gesagt werden. Auch nicht einmal annähernd genau ist es anzugeben.

In dem ersten Abschnitt dieses Kapitels haben wir zwar zahlenmäßig den alljährlichen Gesamtbetrag der Höhlenbildung in einem Gebirge ermittelt. Diese großen Hohlräume, die sich Jahr um Jahr in einem Gebirge bilden, verteilen sich aber auf die vielen Tausende von Spalten, welche sich im Zuzugsgebiet einer jener Riesenquellen finden, nicht aber auf ein einziges Höhlensystem. Folglich sind auch die etwa aus dem Betrage des Gesteines, welches durch das Wasser alljährlich gelöst wird, und dem Rauminhalt einer Höhle zu ziehenden Schlüsse unberechtigt. Und selbst wenn ein solcher Schluß zulässig wäre, dann würde dennoch eine solche „Berechnung“ der Bildungsdauer einer Höhle deswegen zu verwerfen sein, weil sie auf der falschen Voraussetzung beruht, daß zu allen Zeiten die gleichen Niederschlagsverhältnisse geherrscht haben wie heutzutage; dies ist aber eine Voraussetzung, welche allein schon im Hinblick auf die wenigen uns bekannten Klimaschwankungen in der kurzen Spanne historischer Vergangenheit als irrig erkannt werden muß¹⁾.

Wenn sich indessen auch nicht zahlenmäßig das Alter der Höhlen angeben läßt, so ist der Geologe doch oftmals in der Lage, das geologische Alter der Höhle zu bestimmen, d. i. diejenige Periode in der Geschichte unserer Erde, in welche wir die Entstehung der Höhle zu verlegen haben. Mit einer solchen Altersbestimmung der Höhlen sind aber zahlenmäßige Angaben unvereinbar. Denn kein Mensch ist in der Lage, die enormen Zeiten zu berechnen, während welcher die verschiedenen Erdperioden geherrscht haben, während welcher die verschiedenen

¹⁾ Ein Mindestmaß für die Zeitdauer der Hohlenbildung könnte man vielleicht bei Quellhöhlen aus der Quantität des im Wasser gelösten Gesteines und dem Volumen der Höhle „berechnen“. Wie vorsichtig man aber mit solchen Schlüssen sein muß, zeigt die Erwägung, daß die seit alten Zeiten bekannten Höhlen kaum nennenswerte Raumveränderungen erfahren haben, obwohl alljährlich viele Tausende von Cubikmetern Gesteines durch das Wasser gelöst und dem Gebirge entführt werden. Die Korrosion wirkt in der Quellhöhle selbst nicht so stark wie auf den zahllosen Rissen, auf welchen die Wasseradern dem Quellstrome zufließen.

für die betreffenden Perioden charakteristischen Lebewelten entstanden und vergangen sind.

Die Anhaltspunkte, welche wir zur geologischen Altersbestimmung einer Höhle haben, sind vorwiegend zweierlei Art: Einmal wissen wir, daß die Höhlen unbedingt jünger sein müssen, als das Gestein, in dem sie sich finden. Sodann aber sind des öfteren in den Höhlen Überreste ihrer alten Bewohner vorhanden. Die geologische Zeit, welcher jene ausgestorbene Höhlenfauna angehörte, ist also die andere Altersbegrenzung der Höhle. Somit ist zwischen die Entstehungszeit der Höhlengesteine und die geologische Zeit, in welcher die betreffende Höhlenfauna gelebt hat, der meist wohl recht lange geologische Zeitraum zu verlegen, während dessen die Höhlenbildung vor sich gegangen ist.

Vielfach treten noch andere geologische Gesichtspunkte hinzu, welche gestatten, die Altersbegrenzung der Höhlenbildung enger zu ziehen.

Dies ist z. B. der Fall in der Fränkischen Schweiz. Hier befinden sich die Höhlen in den jüngsten Gesteinen der Juraformation, in dem sogenannten Frankendolomit. Nach Abschluß der Jurazeit wurde Franken Festland und blieb es bis zur Jetztzeit. Es konnte somit während der Kreidezeit und während der Tertiärperiode bis zur Jetztzeit die Höhlenbildung vor sich gegangen sein. Nun finden sich aber in manchen Höhlen Überreste altquartärer Höhlenbewohner. Zu jener Zeit also, als die quartäre Erdperiode begann, jene Periode, in der wir uns heute noch befinden, da waren bereits Höhlen in Franken vorhanden.

Wir würden nach dem Gesagten die Bildungszeit der Höhlen Frankens in den langen, geologischen Zeitraum verlegen müssen, während dessen die Schichten der Kreideformation und der Tertiärformation sich niedergeschlagen haben. In diesem Falle aber können wir die Altersbestimmung der Höhlen noch enger begrenzen. Es fanden nämlich zu tertiärer Zeit jene gewaltigen Veränderungen in der Oberflächengestaltung unseres Kontinentes statt. Es entstanden die großen alpinen Gebirgszüge Europas. Um dieselbe Zeit barst auch das Tafelland, welches große Teile von Süddeutschland nördlich der Donau zusammensetzt. Die großen Verwerfungen und Schichtenverschiebungen entstanden, welche wir heute daselbst beobachten können. So ist das als fränkische Tafel bekannte Stück der Erdoberfläche durch ver-

schiedene Brüche zerschnitten, längs deren der westliche Teil um mehr oder weniger hohe Beträge abgesunken ist. Nun finden sich in unmittelbarer Nähe jener Bruchlinien (Verwerfungslinien) Höhlen. Wenn diese Höhlen bereits vorhanden gewesen wären zu jener Zeit, als jene Krustenbewegungen stattfanden, dann hätten sie ohne Zweifel einstürzen müssen.

In diesem Falle kommen wir also zu dem Ergebnis, daß die Höhlenbildung jünger ist als mitteltertiär, älter aber als altquartär.

Dies ist die genaueste Altersbestimmung, die sich durchführen läßt. Sie führt zu dem Ergebnis, daß die Höhlen, geologisch gesprochen, sehr jung sind. Im Verhältnis zu den bekannten historischen Zeiten sind aber jene Zeiten, welche seit Bildung der Höhlen verstrichen sind, sehr groß.

Das relative Alter der Höhlen läßt sich also nach dem Gesagten gelegentlich ermitteln, das absolute, d. h. zahlenmäßige Altersberechnung der Bildungszeit einer Höhle, ist aber undurchführbar.

9. Zusammenfassung. Das in diesem Kapitel Gesagte sei hier nochmals kurz rekapituliert: Die Korrosion wirkt in den Karstgebirgen unterirdisch, höhlenbildend; sie vermag alljährlich beträchtliche Gesteinsmengen dem Gebirge zu entziehen. So bilden sich im unterirdischen Zuzugsgebiet des Timavo Jahr um Jahr Hohlräume, deren Gesamtvolumen nicht weniger als 80 000 cbm beträgt.

Als Zeugen der Abtragung durch die Korrosion können wir einerseits den Gehalt der Quellen an gelösten Mineralbestandteilen, andererseits die großen Quantitäten an unlöslicher Asche der Karstgesteine — Kalke und Dolomite — ansehen, welche sich oberirdisch als Terra rossa, unterirdisch als Höhlenlehm finden.

Gleichzeitig mit der Höhlenbildung vollzieht sich ein anderer der Höhlenbildung entgegengesetzter Vorgang: die Tropfsteinbildung. Indessen ist die Gesteinsquantität, welche in den Tropfsteinen ausgeschieden wird, weit kleiner als die, welche durch das Wasser aufgelöst wird; und zwar beträgt sie etwa ein Drittel der letzteren.

Die Höhlenbildung schreitet somit neben der Tropfsteinbildung fort. Nur scheinen im allgemeinen diejenigen Höhlen-

räume, welche Tropfsteine führen, in ihrer Bildung beendet zu sein. In ihnen scheidet sich nur noch Tropfstein aus, während an anderen Stellen des Gebirgsinnern neue Höhlen von der Korrosion geschaffen werden.

Die Zeitdauer der Höhlenbildung kann, wie wir sahen, ebensowenig rechnerisch ermittelt werden, wie die Bildungsdauer der Tropfsteine.

Siebentes Kapitel.

Die mechanische Tätigkeit des Wassers in bezug auf die Höhlenbildung.

Die Erosion des Wassers. — Erosion keine höhlenbildende, sondern nur umbildende Kraft. — Erosion als höhlenvernichtender Faktor. — Erosion in Durchgangshöhlen.

In dem vorigen Kapitel wurde gezeigt, daß die chemische Kraft des Wassers, die Korrosion, für sich allein genügt, um die Entstehung der Höhlen zu erklären. Neben der chemischen, korrodierenden Kraft des Wassers kommt aber auch des öfteren die mechanische, erodierende in Betracht.

Die Erosion wird vom Wasser in zweierlei Weise ausgeübt: entweder direkt durch die Heftigkeit des Anpralls oder indirekt, indem nicht das Wasser selbst, sondern die von ihm losgelösten Gesteinsteile die mechanische Wirkung verursachen.

Die erstere der beiden Arten von Erosion, jene durch das heftig bewegte Wasser allein bewirkte, ist wohl nur an der brandenden See oder als Unterwaschungen an steilen Ufern binnenländischer Gewässer zu beobachten. Die Strandhöhlen sind jedoch keine Höhlen im eigentlichen Sinne des Wortes. Es sind Vertiefungen im Gestein, wie solche durch jede Art der Denudation entstehen können. Der vom Winde bewegte Sand der Wüste höhlt die Felswände in gleicher Weise aus. Aber dies alles sind keine echten Höhlen. Daher hat man sie auch treffend als Halb-