-592

ORTRÄGE
des
naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien.

XLIV. Jahrgang. — Heft 1.

Über das Karstphänomen.

Vortrag, gehalten den 4. November 1903

von

Albrecht Penck

Deutscher und Oesterreichischer
ALPENVEREIN
Section Küstenland

Mit 5 Abbildungen im Texte.

Wien, 1904.

Selbstverlag des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse.

Druck von Adolf Holzhausen in Wien.

SOCIETÀ ALPINISTI GIULIE
SEZIONE DI TRIESTE DEL C.A.I.
LC
67
BIBLIOTECA

Società Alpina
delle Giulie
Trieste

VORTRÄGE
des
Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien.
XLIV. Jahrgang. — Heft 1.

Über das Karstphänomen.

Vortrag, gehalten den 4. November 1903

von

Albrecht Penck.

Mit 5 Abbildungen im Texte.

Wien. 1904.

Selbstverlag des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse.

Druck von Adolf Holzhausen in Wien.

694

Der Vortrag wurde durch Vorführung von Lichtbildern erläutert. Dabei wurden vorzugsweise Diapositive des Geographischen Institutes der Universität Wien sowie der Firma Lechner in Wien benutzt. Wir fügen die Nummern der Lechnerschen Bilder nach dem Verzeichnis der Glas-Photographien dieser Firma in Klammern an.

Die Eisenbahnfahrt von Wien nach dem Meere führt uns zwischen Laibach und Triest durch eine höchst auffällige Landschaft. Jene Regelmäßigkeit der Oberflächengestaltung, die wir im Wienerwalde, in den steirischen Alpen und im steirischen Hügellande bewundern, nämlich daß sich Bergrücken und Flußtäler ineinanderschieben so wie die ineinander gelegten Finger beider Hände, hört mit einem Male auf. Das Land ist uneben, entbehrt aber der Täler. Statt ihrer treffen wir mehr oder weniger ringsum geschlossene, wannenförmige Hohlformen. Flüsse fehlen auf große Strecken gänzlich, und wenn sie angetroffen werden, knüpfen sich an sie eigentümliche Erscheinungen. Die Reka und Poik treten nach kurzem Laufe in Felsentore und verschwinden von der Erdoberfläche; die Unz und Laibach kommen als fast schiffbare Flüsse aus Felsentoren hervor. Herrscht auf den Höhen oft sehr empfindlicher Wassermangel, so werden die großen tiefen Einsenkungen häufig in ausgedehntem Maße überschwemmt. Bekannt ist der Zirknitzer See; er erstreckt sich im Frühjahre dort, wo im Herbste wenn nicht Getreide, so doch Heu geerntet werden kann. Während wir endlich bei uns nur selten Felsen an die Oberfläche treten sehen, kommen sie

mehr und mehr, selbst auf flachwelligem Gelände zu tage, je mehr wir uns Triest nähern. Das ist der Karst.

So wie das Land zwischen Laibach und Triest sind die österreichischen Küstenländer fast durchwegs gestaltet und beschaffen. Ob wir den Tarnowaner Wald (8706) betrachten, oder den Obešniak bei Fiume (8721), den Mosor östlich von Spalato (8714) oder die Baba in der Hercegovina (1962), immer derselbe Landschaftstypus, ob wir in Krain oder in Hochkroatien (8722) oder in der Hercegovina sind, immer die nämlichen periodischen Seen, dieselben mächtigen, selbst dicht am Meere auftretenden Quellen (8717). Man nennt unsere Küstenländer darum auch Karstländer. Die in ihnen herrschende eigenartige Oberflächengestaltung hat lange Zeit die Forscher beschäftigt; anfänglich war sie schwer verständlich; je besser sie aber durch die Aufnahme der Spezialkarte Österreich-Ungarns in ihren charakteristischen orographischen Zügen festgelegt wurde, desto mehr ist man ihrem wissenschaftlichen Verständnis näher gekommen, und heute gilt die Oberflächengestaltung unserer Karstländer geradezu als typisch. Man spricht von einem Karstphänomen auch in anderen Teilen der Erde. Ihm wurde bereits 1893 eine ausgezeichnete Monographie von Jovan Cvijić, dem jetzigen Professor der Geographie in Belgrad, gewidmet. Die außergewöhnlichen hydrographischen Verhältnisse des Karstes, die Karsthydrographie, ist der Gegenstand der kürzlich erschienenen trefflichen Arbeit eines jungen

Wiener Forschers, Dr. Alfred Grund.[1]) Dank beiden Untersuchungen ist es nunmehr möglich, die Karsterscheinungen nach bestimmten Entwicklungsreihen klar zu überblicken. Das soll im folgenden geschehen. Dabei werden uns aber lediglich die Züge der Oberflächengestaltung insbesondere der adriatischen Karstländer beschäftigen, nicht aber auch ihr Landschaftscharakter. Das muß deswegen betont werden, weil nach dem Sprachgebrauch vielfach nur das Land als verkarstet gilt, das vegetationsarm ist, während der verkarstete Boden auch mit dichtem Waldkleide verbunden sein kann, wie man namentlich nördlich Adelsberg sieht: herrliche Wälder stehen dort auf einem Kalkstein, der alle die charakteristischen Züge der Oberflächengestaltung des südlich gelegenen nackten Karstes trägt. Die Verkarstung ist eine bestimmte Oberflächenbeschaffenheit, die einen Teil des Karstphänomens bildet, und die am meisten dort zur Geltung kommt, wo das Land zugleich pflanzenleer ist, sei es aus klimatischen, sei es aus anderen Ursachen.

Das Karstphänomen ist geknüpft an das Auftreten reinen Kalkes. Die Löslichkeit dieses Gesteines in reinem, insbesondere aber kohlesäurehaltigem Wasser ist die Ursache seines Entstehens. Während sonst das Regenwasser auf der Erdoberfläche es erst dann zu ansehnlichen Wirkungen bringt, wenn es eine gewisse lebendige Kraft er-

---

[1]) Beide Arbeiten sind in den von mir herausgegebenen Geographischen Abhandlungen erschienen, die von Cvijić Bd. V, Heft 3, die von Grund Bd. VII, Heft 3.

halten hat, die ihm ermöglicht, Gesteinstrümmer oder Trümmerchen zu verfrachten, wenn es sich also gesammelt hat in Adern und sich darin mit einer gewissen Schnelligkeit bewegt, beginnt es, auf Kalkfelsen gefallen seine Wirksamkeit sofort. Jeder Tropfen löst eine, wenn auch minimale Menge, die mit ihm fortrinnt. Die Felswände, an welchen das gefallene Regenwasser abwärts läuft, werden daher von diesem umgestaltet; es tiefen sich allmählich Abflußrinnen ein, welche solch regelmäßig überspülten Kalkwänden eine Riefelung verleihen, die an die Kannelierung dorischer Säulen erinnert. Wir treffen sie in großartiger Weise sowohl am Orjensattel unweit der Bocche di Cattaro, als auch auf den Kalkstöcken der nördlichen Alpen, auf dem Steinernen Meere und dem Dachsteinplateau. Ist das Gefälle der Kalkoberfläche weniger steil, so vereinigen sich die Abflußrinnen des Regenwassers zu einem regelrechten Geäder, das sich wie ein typisches Flußgebiet verästelt, die Rinnen werden getrennt durch schmale Scheiden und diese wieder werden oberflächlich durch die ablaufenden Wasser in scharfkantige, fiederförmig gegliederte, oft messerscharfe Firsten gegliedert, welche durch etwa fingerbreite Rillen von einander gesondert werden.

Kein Kalk ist in größeren Partien von gleichmäßiger Beschaffenheit; gewöhnlich ist er mehr oder weniger von kleinen Klüften, feinen Haarspalten durchsetzt, wie solche nicht selten auf Marmorplatten sichtbar werden. Längs ihrer ist er in der Regel leichter löslich als sonst,

sie werden bei der Überspülung geöffnet. Auf der ursprünglich glatten Oberfläche entstehen längs ihrer erst Ritzen, dann Schüsseln und schließlich offene Klüfte, an denen das Wasser in die Tiefe zu sickern vermag. Diese Entwicklung kann auf geneigter, aber auch auf ebener Oberfläche von statten gehen; auf letzterer kann es nicht zur Bildung von Abflußrinnen kommen, weil die erforderliche Böschung fehlt. Wo eine solche vorhanden ist, bilden sich Abflußrinnen und offene Klüfte zugleich. Meist locken diese die abrinnenden Wasser an sich und schneiden deren Abflußrinnen jäh ab; sind sie dicht geschart, so absorbieren sie letztere ganz und es entstehen auch zwischen ihnen schmale Scheiden, die in ähnlicher Weise wie die zwischen den Abflußrinnen stehen bleibenden gefirstet werden.

Die also entstehenden, bald gesellig, bald von einander getrennt vorkommenden, meist wenig über einen Meter tiefen Abflußrinnen und die oft erheblich tieferen, an Haarspalten geknüpften offenen Klüfte nennt man Karren oder Schratten. Sowohl die Rinnenkarren als auch die Kluftkarren treten gesellig auf und bilden weite Karrenfelder, in denen bald der eine, bald der andere Typus herrscht, gewöhnlich aber beide Formen zusammen vorkommen. Da nun die feinste Klüftung des Gesteins von Ort zu Ort sehr wechselt, so sind insbesondere die Kluftkarren von großartiger Mannigfaltigkeit und die Karrenfelder bieten in der Regel eine überaus anregende, manchen verwirrende Formenfülle. Sie sind bezeichnend für die Kalkstöcke der Alpen, für das Dach-

steinplateau, für das Steinerne Meer, so namentlich für die Schrattenkalke von Vorarlberg, der Schweiz und von Savoien. Nicht jeder Kalk begünstigt ihre Entwicklung; auf dem Wettersteinkalke sind sie spärlich, auf dem Dachsteinkalke meist reichlich vorhanden; während sie auf dem Urgonkalke der Westalpen so häufig vorkommen, daß dieser nach ihnen Schrattenkalk heißt, fehlen sie dem Hochgebirgskalke der Westalpen in der Regel. Große Reinheit des Kalkes ist ein Haupterfordernis für ihre Entstehung; doch zeichnen sie denselben Kalk keineswegs allenthalben aus. In ihrer typischen Ausbildungsweise sind sie beschränkt auf größere Höhen des Gebirges. Erst über 1700 *m* Höhe stellen sie sich mit allen ihren Eigenheiten ein. Dies hat lange Zeit dazu geführt, sie mit Eis- und Schneewirkungen in Beziehung zu bringen; man hat sie ursprünglich für Werke von Schmelzwässern eiszeitlicher Gletscher erklärt, später hat man denen des Schnees eine maßgebende Rolle für ihre Entstehung zugeschrieben; Heim hat 1878 die richtigen Wege gewiesen, die Karrenbildung auf die chemische Wirkung abrinnender Wässer atmosphärischen Ursprungs zurückzuführen. Unerklärt ist bisher immer nur geblieben, warum ihre schönsten Werke in einer bestimmten Höhenzone des Gebirges angetroffen werden. Dies wird aber verständlich, wenn wir sehen, daß sich die prächtigsten Karrenfelder auf dem Boden alter Gletscher finden, welche erst in den letzten Phasen des Eiszeitalters dahingeschwunden sind. Sie treten in den Kalkalpen genau an den Stellen auf, die denen der

Rundhöckerlandschaften der Zentralalpen entsprechen, und mit Rundhöckern hat das Auf und Ab größerer Karrenfelder große Ähnlichkeit, wie ein Blick über das Steinerne Meer (8512), oder das Dachsteinplateau (8516) überzeugend lehrt.

Die Gletscher, welche jene Höhen noch in einer späten Phase der Eiszeit bedeckten, haben sie glatt abgescheuert. Das seither auf die Rundhöcker gefallene Regenwasser hat sie in der geschilderten Weise zerfressen, erst sind Abflußrinnen ausgewaschen, dann Klüfte geöffnet worden, aber noch ist die Gesamtform des Buckels erhalten. Sie leuchtet durch die Karrenfelder hindurch. Daß diese nicht auch auf den Böden der großen Vergletscherungen vorkommen, kann angesichts der zerstörenden Wirkung, welche die Vegetation auf die Karren ausübt, nicht wundernehmen. Diese ist bei der Karrenbildung, bei der man ihr auch eine gewisse Rolle zugeschrieben hat, so gut wie unbeteiligt; sobald sie aber ihr Kleid über ein Karrenfeld spannt, erfüllen sich die Rinnen und Klüfte erst mit Humus, dann mit Erdreich; die zwischen ihnen stehenden Schneiden werden durch Sickerwässer und Wurzeln erst zugerundet und allmählich zerstört, wobei ihre bauchigen Partien noch lange Zeit als isolierte Karrensteine erhalten bleiben.

Die Nacktheit des Landes oberhalb der Baumgrenze ist nach dem Auseinandergesetzten für die Bildung der Karrenfelder von größter Bedeutung, da ihr zufolge das Land der abspülenden Tätigkeit des Regenwassers ausgesetzt ist; aber sie allein darf nicht als maßgebend gerade für

die Entstehung der Karrenform angesehen werden. Das sieht man in den eigentlichen Karstländern: die ausgedehnten hier auftretenden verkarsteten Flächen haben einen etwas anderen Typus als die Karrenfelder. Man sieht keine Rinnenformen mehr, sondern nur Klüfte. Wie zerhackt ist das Land auf dem Fiumaner Karst bei Plase. Am Mostarsko blato (8740), wo seine Oberfläche mit Schichtflächen zusammenfällt, erscheint sie wie ein Pflaster, durchsetzt von zahlreichen Klüften, die bald isoliert auftreten, bald ein unregelmäßiges Netzwerk bilden; die dazwischen befindlichen schmäleren oder breiteren Flächen zeigen die Firstung wie Karrenkämme. Diese Firstung ist bezeichnend für das sogenannte Riesenkarrenfeld zwischen Opčina und Repentabor bei Triest. Wo die Landoberfläche die Schichtflächen schräge schneidet, wachsen gewisse, offenbar besonders widerstandsfähige Schichten aus ihrer Umgebung hervor und bilden ruinenähnliche Aufragungen, die den Schichtbau auf weite Entfernungen erkennen lassen und die ihrerseits wieder geriefelt sind. Das gilt insbesondere von der südlichen Hercegovina, z. B. der Gegend von Trebinje (8736, vgl. auch 8731). Das unregelmäßige Auf und Ab der Karrenfelder fehlt, man trifft größere, zusammenhängende Böschungen, die allerdings sich nicht wie unsere Talgehänge gleichsinnig nach einem bestimmten Flußgebiete, sondern nach verschiedenen Stellen hin senken. Es fehlt den verkarsteten Flächen neben den Rinnenkarren das, was die Karrenfelder mit den Rundhöckerlandschaften gemein haben, das Höckerige, und dabei zeigen sie viel

größere Abhängigkeit vom Schichtbau. Sie tragen die Kennzeichen eines älteren Gliedes der Entwicklungsreihe. Wie bei den reifen Formen der Landoberfläche kommt in ihnen die geologische Struktur viel anschaulicher zum Ausdruck als bei den jugendlichen Formen, welche die ursprünglich vorhandenen Abdachungen noch erkennen lassen. In der Tat zeigt sich, daß die Karstgebiete viel länger der ätzenden Wirkung der Atmosphärilien ausgesetzt sind als die Karrenfelder der Alpen. Während diese erst etwa seit dem Beginne der neolithischen Periode nackt daliegen, sind die verkarsteten Flächen der Karstländer seit dem Ende der Tertiärperiode der Verkarstung unterworfen.

Die Entwässerung der Karrenfelder geschieht nach unten. Irgend eine Fuge im Kalksteine bietet den Oberflächenwässern einen Abzug und indem sie regelmäßig von ihnen benutzt wird, wird sie von ihnen, da sie sich im löslichen Gesteine befindet, ausgeweitet und in eine Röhre verwandelt. So entstehen die Karrenbrunnen. Sie bezeichnen in der Regel das Ende von ausgedehnteren Flächen mit Rinnenkarren; sie sind meist schmale, gewöhnlich aber ziemlich tiefe Schlote, die nicht selten auch als Zentren von Kluftkarren dienen. In den morphologisch älteren Karstflächen werden diese Brunnen durch die echten Dolinen oder Karsttrichter ersetzt. Es sind dies trichterförmige Vertiefungen, die durch Erweiterung vom Mündungsbereiche jenes Kluftsystemes zustande gekommen sind, durch das sie unterirdisch entwässert werden. Je länger ein bestimmtes Kluftsystem

die Tageswässer aufschluckt, desto mehr wird sich sein Eingang erweitern, wobei dieser schließlich Trichterform annimmt. Wir sehen die Karsttrichter auf den Kalkplateaus, welche nicht vergletschert gewesen sind, wie z. B. das der Bjelašnica (8749) in Bosnien. Lange hält sich hier in ihnen der Schnee; seine Schmelzwässer erweitern die Fugen, zu denen der Trichter führt, sie sind aber nicht dessen Ursache, sondern eine Folge von ihm. Meist bilden die Dolinen Reihen, manchmal auch Doppelreihen, wie auf der Lukavica Planina in Montenegro. Die spärlichen, gewöhnlich rot gefärbten Lösungsrückstände des umgebenden Kalkes werden in ihnen zusammengeschwemmt; diese Roterde oder Terra rossa bildet vielfach den einzigen Ackerboden der verkarsteten Flächen, die Dolinen daher fruchtbare Oasen in einer Steinwüste, welche durch Mauern vorsichtig vor den Herden weidender Tiere geschützt werden. Ihre Tiefe wechselt. Manche Doline bildet nur eine flache Delle, eine andere mahnt eher an einen typischen Trichter. Die einen haben nur 10 *m*, die anderen Hunderte von Metern im Durchmesser. Manchmal sind sie selten und manchmal so häufig, daß das Land wie blatternsteppig aussieht — wieder eine fast verwirrende Fülle von Formen, deren Verständnis uns aber durch Grunds Karsthydrographie erschlossen wird.

Wir müssen uns fragen: Wohin kommt das Wasser, das in den Karrenbrunnen und Dolinen zur Tiefe wandert? Eine einfache Überlegung lehrt, daß es nicht ununterbrochen abwärts fließen kann. Es muß in der Tiefe einmal auf Klüfte stoßen, die schon mit Wasser gefüllt

sind. Dieses verschließt ihm den Weiterweg in der Senkrechten, es muß seitwärts ausweichen, bis es irgendwo als Quell in einem tiefen Taleinschnitte oder am Fuße des Gebirges zutage tritt. Ganz ähnlich sind die Schicksale des Wassers, das in durchlässigen Boden, z. B. in ein Geröllager einsickert. Es kommt schließlich auf das Grundwasser und bewegt sich mit diesem zu den nächsten Oberflächenquellen hin. Wie diese den Spiegel des Grundwassers bestimmen, das nach ihnen hin ein Gefälle haben muß, so regeln die am Fuße der verkarrten oder verkarsteten Erhebungen auftretenden Quellen die Höhenlage der Wasserausfüllung in den Klüften des Berges. Diese muß hier höher stehen, als die Quellen liegen, zu denen sie abfließt. Wie wir uns unter einem weiten Schotterfelde einen Grundwasserspiegel denken, nach dem hin das Wasser einsickert, so haben wir uns unter den Karsthöhen ein Karstwasserniveau vorzustellen, unterhalb dessen der Berg wie ein Schwamm vollgezogen ist mit Wasser. Entsprechend dem Grundwasser gibt es ein Karstwasser mit gleichen Gesetzen der Bewegung; das ist das wichtige Ergebnis von Grunds Arbeit.

Grundwasser und Karstwasser sind dabei nicht identisch.[1]) Untenstehende Figur 1 zeigt ihre bezeichnenden Verschiedenheiten. Das schwarz dargestellte Grundwasser (links) erfüllt die Zwischenräume zwischen den

[1]) Unter Karstwasser verstehen wir hier alles in den Fugen des Karstgebirges befindliche Wasser, unter Karstquellen alles quellenförmige Auftreten derselben. Grund gebraucht beide Ausdrücke in einem engeren Sinne.

Geröllen oder Sandkörnern, die unter der Voraussetzung, daß beide kugelförmig gestaltet seien, bei gleicher Korngröße und dichtester Lagerung mehr als den vierten Teil der Ablagerung ausmachen. Das Karstwasser (rechts)

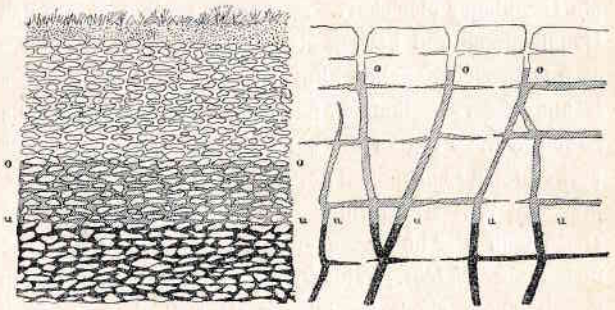

Fig. 1. Grundwasser und Karstwasser.

erfüllt lediglich die offenen Fugen im Kalksteine, die nach einer Schätzung Grunds nur 2—6 $^0/_{00}$ von dessen Volumen einnehmen. Senkt man einen Brunnen in ein Grundwasser führendes Geröll, so kommt man unbedingt auf Wasser, weil der Brunnendurchmesser gewöhnlich erheblich größer als der Geröllduchmesser ist; teuft man einen Schacht in Kalkstein, so wird man nur dann Wasser erhalten, wenn man eine wasserführende Kluft anfährt; die kluft- und wasserfreien Partien sind viel größer als der Durchmesser eines gewöhnlichen Schachtes. Vermehren wir das Grundwasser um ein bestimmtes Volumen, so steigt es unter den über die Gerölle

gemachten Voraussetzungen im Schotter etwa viermal so hoch, als das zugeführte Wasser, schichtförmig ausgebreitet, ihn bedecken würde; eine gleiche Mehrung des Karstwassers würde dasselbe 160—500 mal so hoch steigen machen. Wir haben diese Verhältnisse in unserer Figur nicht in richtigem Maßstabe darstellen können; der Deutlichkeit halber machten wir die Gerölle so groß wie ihre Zwischenräume und die Fugen des Kalkgebirges gleich ein Fünftel seines Volumens. *u, u, u* ist das ursprüngliche Niveau des Grund- und Karstwassers, *o, o, o* das bei der Zufuhr von gleichen Mengen Wassers erzielte Niveau. Das Karstwasser steigt im Bilde nur $2\,^1/_2$ mal so hoch an als das Grundwasser.

Sobald wir uns mit dem Wesen des Karstwassers vertraut gemacht haben, können wir die ganze Entwicklung der Karstphänomene leicht verstehen. Wir denken uns (Fig. 2 I) zunächst eine ganz ebene Oberfläche von Kalkstein, in die keinerlei Fluß einschneidet. Die auf sie fallenden Regenwässer sickern in die anfänglich offenen Klüftchen ein, erfüllen dieselben aber bald bis oben hinauf, dann hört das Einsickern auf; es kann weder zur Bildung von Rinnenkarren kommen, da die dazu erforderlichen Böschungen fehlen, noch zur Entstehung von Kluftkarren, da kein Wasser in die Tiefe sickert. Aus gleichem Grunde kommen weder Karrenbrunnen noch Dolinen zur Entwicklung; es wird die Oberfläche nicht verkarstet; sie bleibt eben, trotz ihrer kalkigen Beschaffenheit sobald das Karstwasserniveau *(KW.)* bis zur Oberfläche reicht. Nun stellen wir uns dieselbe Ebene wieder vor

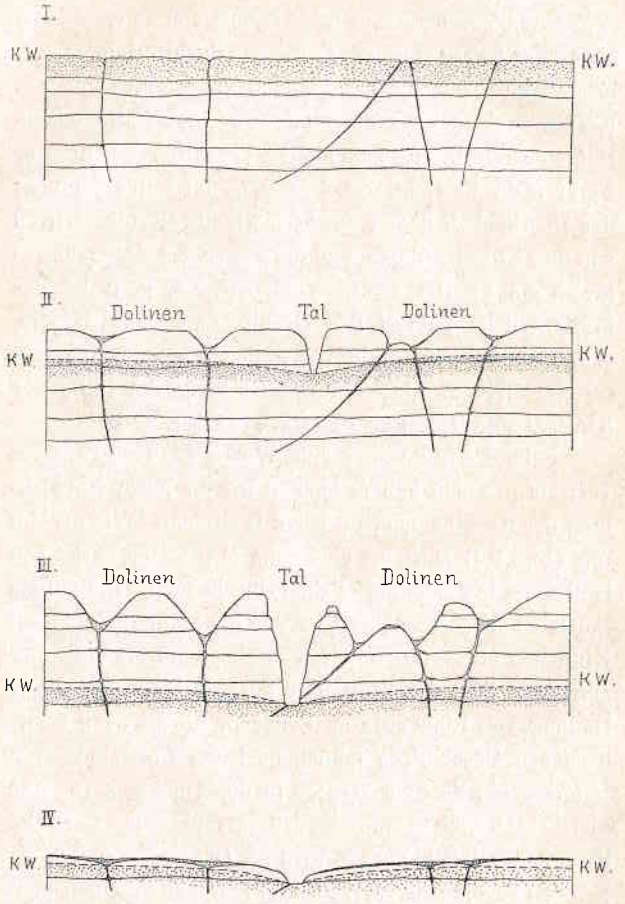

Fig. 2. Entwicklungsreihe der Dolinen.

(Fig. 2 II), lassen aber einen Fluß in sie einschneiden. Die beiderseits seines Tales gelegenen Kalkfelsen können das Wasser in ihren Klüften nicht mehr halten, es fließt aus ihnen ab; es reicht das Karstwasser *(KW.)* nach kurzer Zeit nur noch bis zu einem tieferen Niveau als zuvor, und zwar hat es ein deutliches Gefälle nach dem Flusse hin erhalten, zu dem es abfließt. Nunmehr, wo sein Spiegel gefallen ist, beginnt das Einwirken der Tageswässer. Sie verkarsten die Oberfläche und bilden erst Röhren und später Trichter, die höchstens bis zum Karstwasser herabreichen, also in der Nähe des Flusses tiefer sind als in einiger Entfernung von demselben. Schneidet der Fluß noch tiefer ein, (Fig. 2 III), so sinkt der Karstwasserspiegel in entsprechendem Maße, die oberflächliche Verkarstung wird stärker, die Dolinen werden tiefer; mehrere können mit einander zu einer zusammenwachsen; es entstehen Doppeldolinen und größere beckenförmige, aus mehreren Dolinen hervorgegangene Vertiefungen, die Cvijić Uvala genannt hat. Immer aber bleibt der Dolinenboden höher als der Spiegel des benachbarten Flusses und zu beiden Seiten desselben tritt das Karstwasser in Quellen zutage. Anfänglich wird es aus allen Fugen kommen, in denen es steht, aber bald wird es nur aus den größeren auslaufen, in denen es sich am leichtesten bewegt. An diese Fugen werden sich größere Quellen knüpfen, die man gerne als einen wieder zutage tretenden, irgendwo verschwundenen Fluß ansehen möchte, die sich aber wirklich auf eingesickertes Oberflächenwasser zurückführen. Sie fördern Karstwasser, nicht Flußwasser, wie

z. B. der Gollinger Wasserfall im Salzachtale oberhalb Salzburg (8513). Nirgends sieht man schöner das Zutagetreten des Karstwassers in zahlreichen, zum Teile mächtigen Kluftquellen als in der Narentaenge zwischen den wasserlosen Kalkstöcken der Cvrstnica und des Prenj in der Hercegovina; die engen Beziehungen zwischen Dolinentiefe und Taltiefe sind vorzüglich im kroatischen und bosnischen Karste längs der Korana und Una zu erkennen.

Dieselbe Entwicklung, welche wir hier für das Einschneiden von Flüssen in ein ursprünglich ebenes Kalksteingebirge skizziert haben, tritt dann ein, wenn letzteres in unmittelbarer Nähe des Meeres gehoben wird, ohne daß es zur Talbildung kommt. Diese setzt immer rinnendes Wasser voraus; solches aber fehlt, wie wir gleich sehen werden, sobald das Land über dem Karstwasserspiegel liegt. Je höher es gehoben wird, desto kräftiger sickern die Regenwässer ein, desto stärker wird die Verkarstung, desto tiefer und breiter werden die Dolinen, bis sie schließlich nur durch schmale Grate von einander getrennt werden. Dies zeigt sich deutlich im Velebitgebirge; sein Kamm ist ein Geflecht von Firsten, zwischen denen sich tiefe und breite Dolinen einsenken. Auch bei Fiume stehen die großen Dolinen außer Beziehung zu Tälern und dürften gleichfalls unmittelbar infolge der Erhebung gebildet worden sein. Sie sind hier Folgeformen, während sie in Hochkroatien, wo sie an Flüsse geknüpft sind, dem Einschneiden derselben nachgefolgt sind und deswegen als Nachfolgeformen zu gelten haben.

Je kräftiger die Verkarstung eines Gebietes wird, desto stärker wird aber auch die Entfaltung aller der Kräfte, die sie zerstören. Je tiefer die offenen Karstklüfte, desto leichter können sich von ihren Wandungen Bruchstücke loslösen, die sie verschütten; je tiefer die Dolinen, desto mehr Angriffspunkte bieten sie den Atmosphärilien, die sie abböschen und die Roterde an ihrem Boden zusammenschwemmen. Schließlich wird sich ein Zeitpunkt einstellen, in dem sich die Fortbildung und Zerstörung die Wage halten, dann wird das Karstphänomen seine großartigste Entwicklung erreicht haben, was am kroatischen Gestade im Velebitgebirge der Fall sein dürfte. Die Weiterentwicklung führt zu seiner Zerstörung. Unablässig schreitet die Auflösung des Kalkes fort; jeder von einer Karren- oder Karstscheide abrinnende Tropfen arbeitet an deren Riefelung fort und erniedrigt sie, jeder Tropfen einsickernden Wassers erweitert die Fugen und Klüfte, lockert das Gestein und beschleunigt seine Auflösung in Scherben, die dann leicht weggelöst werden. Nehmen wir an, daß jeder Kubikmeter Regenwasser nur rund ein Viertel von dem löste, was kohlensäurehaltiges Wasser lösen könnte, nämlich 100 Kubikzentimeter Kalk, so wird bei einem Regenfalle von 1 *m* jährlich, jährlich eine 0·1 *mm* starke Kalkschicht weggelöst; in 10.000 Jahren würde also das Kalkgebirge um 1 *m* abgetragen. Es wird im Laufe langer Zeiträume immer niedriger, seine Oberfläche nähert sich allmählich dem Karstwasserniveau (Fig. 2 IV). Die Verkarstung wird unbedeutender, die Dolinen seichter. Dazu kommt, daß kein Kalk chemisch

vollkommen rein ist; ein jeder enthält wenigstens Spuren unlöslicher Materialien, welche zurückbleiben, wenn der Kalk weggeätzt wird. Sie werden umsomehr in den Dolinen zusammengeschwemmt, je länger der Vorgang der Verkarstung andauert, und kleiden sie mehr und mehr aus; sie bleiben endlich auch auf dem Lande zwischen den Dolinen liegen und hüllen die hier entstandenen Karstformen ein. So bringt sich die Verkarstung schließlich selbst um. Das südliche Istrien ist eine solche erlöschende Karstlandschaft. Sie ist fast ganz mit Terra rossa bedeckt, die Dolinen sind verflacht, dann und wann ist ihre für Wasser undurchlässige Lehmausfüllung so stark, daß sie kleine Teiche trägt. Der schwäbische Jura ist ein weiteres altes Karstgebiet mit starker Lehmbedeckung; aber hier wie da liegt der Karstwasserspiegel noch so tief, daß Flüsse fehlen. Auch das nördliche Bosnien birgt zahlreiche gealterte Karstgebiete, die sich durch ihr prächtiges Waldkleid auszeichnen. Unter der mächtigen Lehmbedeckung solcher alter Karstgebiete finden sich nicht selten die Karstformen in solcher Reinheit, daß man annehmen möchte, ihre Bildung dauere unter dem Lehme fort. Unter der Terra rossa Istriens liegen karrenähnliche Firste; der Lehm des schwäbischen Jura sackt sich an zahlreichen Stellen in Schlote, die sogenannten geologischen Orgeln herab, die nichts anderes sind als lehmerfüllte Seitenstücke zu den Karrenbrunnen. An der Küste der Normandie sieht man die weiße Schreibkreide (1885) mit welliger Oberfläche hineinragen in den sie bedeckenden Höhenlehm: dieser füllt zahlreiche Schlote, ja ganze Dolinen aus.

Wenn ein Kalkgebiet mit tief gelegenem Karstwasserniveau alles Oberflächenwasser aufschluckt, so können unmöglich Flüsse auf seinen Höhen fließen, sie müssen sich beschränken auf die tiefen Taleinschnitte, die bis unter jenes Niveau herabreichen. Flußarmut ist eine notwendige Begleiterscheinung eines stark entwickelten Karstphänomens. Als Hauptregel gilt, daß, wie eben angedeutet, Flüsse in Karstgebieten nur so lange existieren können, als der Spiegel des Karstwassers höher als der ihre liegt. Wird jener aus irgend einer Ursache, z. B. infolge der Hebung des Landes über das benachbarte Meer, tiefer gesenkt, so werden die zahlreichen Klüfte des Kalkes unter dem Flußbette das Flußwasser ebenso verschlucken, wie sie es an der Landoberfläche mit dem Regenwasser tun, und der Fluß wird, falls das von ihm weggesickerte Wasser das Geklüft nicht bis zu seinem Spiegel zu füllen vermag, gänzlich versiegen. Die obere Donau ist aus diesen Gründen im Kalkgebiete des schwäbischen Jura gefährdet. Ein Teil ihres Wassers wird unfern Immendingen von dessen Klüften aufgeschluckt und kommt dann als Aachquelle im Bodenseegebiete wieder zum Vorschein. Man hat die Klüfte in jüngster Zeit mit Zement verschmieren müssen, um der Vergrößerung des Wasserverlustes vorzubeugen. Wir haben in unseren Karstländern zahlreiche Trockentäler, welche eine stattgehabte Senkung des Karstwasserniveaus teilweise wohl wegen einer erfolgten

Hebung des Landes, teilweise aber auch aus klimatischen Ursachen anzeigen. Des rinnenden Wassers entbehrend, verlieren sie alsbald ihr gleichmäßiges Gefälle infolge seitlicher Einschwemmungen, wie z. B. das obere Dragatal in Istrien. Wir haben aber auch Täler, welche zeitweilig unter, zeitweilig über dem Niveau des Karstwassers liegen; dahin gehört das Tal der Zalomska Reka in der Hercegovina. Im Frühjahre, wenn das Karstgeklüft mit Wasser gefüllt ist, birgt es einen kräftigen Fluß; im Sommer ist dieser verschwunden und in den Klüften, aus denen er sein Wasser erhielt, muß man tief herabsteigen, um den tief gesunkenen Spiegel des Karstwassers zu finden.

In Fig. 3 I ist das Längsprofil eines Flusses dargestellt, welcher über einen Sattel von Kalk hinwegfließt; er kommt von undurchlässigen Schichten und fließt nach solchen. Er ist nicht eingeschnitten, Grund- und Karstwasser stehen in seinem Niveau. Irgend eine Ursache veranlaßt ihn, sein Bett zu vertiefen, was regelmäßig von unten nach oben hin geschieht. Rasch schneidet er in die undurchlässigen Schichten unterhalb des Sattels ein; sobald er aber beim Einschneiden den Kalk erreicht, verlangsamt sich dieses, da der Kalk der Talbildung durch rinnendes Wasser erheblichen Widerstand bereitet. Es entsteht am unteren Ende des Sattels ein Gefällsbruch. Dieser bestimmt das Niveau des oberhalb gelegenen Karstwassers; es senkt sich bis zu seinem Fuße und unter den Spiegel des über dem Kalksattel befindlichen Flußstückes. Nun tritt das ein, was wir eben von einem

Flusse dargetan haben, der über dem Karstwasserniveau fließt. Es wird das rinnende Wasser aufgeschluckt von den Spalten des Gesteines und fließt bei entsprechender

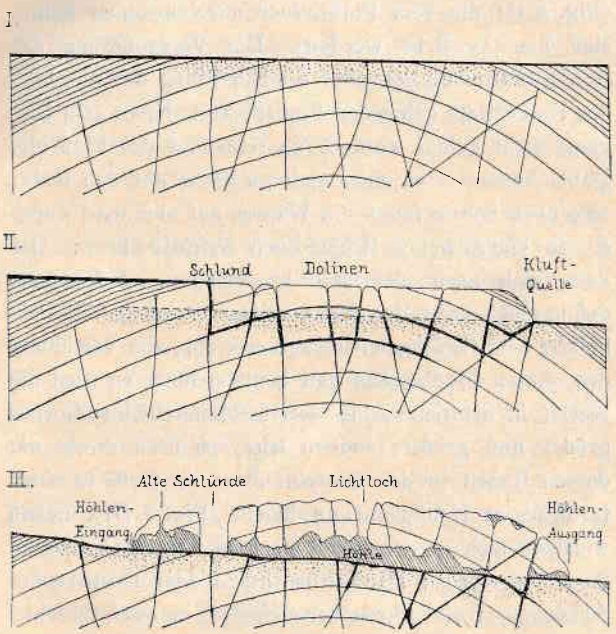

Fig. 3. Entwicklungsreihe der Karsthöhlen.

Senkung des Karstwasserniveaus schließlich im Gesamtbereich des Kalkes unterirdisch. Es stürzt beim Betreten desselben in irgend einer Spalte zur Tiefe, wäscht diese allmählich zu einem wahren Schlunde und die Spalten,

in denen seine Wässer vielfach nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhren, aber immer unter dem Spiegel des Karstwasserniveaus weiterfließen, zu Höhlen aus (Fig. 3 II; die vom Flußwasser durchflossenen Klüfte sind hier verdickt worden). Die Vergrößerung des Schlundloches bestimmt die Eintiefung des oberhalb des Kalksattels gelegenen Flußstückes. Kann sein Eingang tiefer gelegt werden, so schneidet der Fluß ein. Dabei kommt er an einer anderen Stelle auf den Kalk; eine neue Spalte fängt die Wässer auf und wird durch sie zu einem neuen Schlundloch ausgedrechselt. Das kann sich noch mehrmals wiederholen. Jedes neue Schlundloch setzt das ältere außer Tätigkeit. Schließlich ist eine Gleichgewichtslage erreicht; die Vertiefung des oberen Flußstückes hält beinahe inne, es wird die Kerbe in die Seiten des letztbenützten Schlundloches größer und größer, endlich tritt der Fluß direkt auf dessen Boden in das Gestein über; er fließt in einen torförmigen Höhleneingang hinein (Fig. 3 III), neben welchem sich in der Regel noch alte Schlünde finden. So treten uns die Flußschwinden oder Ponore der Südslaven, Katavothren der Griechen in zwei verschiedenen extremen, durch mannigfache Übergänge mit einander verbundenen Formen, den Schlund- und den Torschwinden entgegen. Auch der Auslauf des unterirdischen Flußlaufes erfährt eine Umgestaltung. Indem die vom Wasser benutzten Klüfte zu Höhlen ausgewaschen werden, entsteht hier ein Höhlenausgang, wenn die Höhle horizontal mündet; mündet sie aber

senkrecht, so bildet sich ein Auslaufkessel oder Quelltopf.

Einige Flüsse unseres Küstenlandes haben eine Entwicklung ähnlich der geschilderten durchlaufen. Die zahlreichen Wasseradern Istriens, welche in der zentralen Flyschmulde der Halbinsel entspringen, verschwinden dort, wo sie den flachen Sattel von Kreidekalken erreichen, die den Westen der Halbinsel begleiten. Die bekannteste von ihnen ist die Foiba, deren Schwinde bei Mitterburg liegt. Daß sie bei anderen Niveauverhältnissen des Landes das Meer erreicht hat, lehrt das schon erwähnte Trockental der Draga; es beginnt über der Foibaschwinde; seine Fortsetzung ist als Lemekanal unters Meer getaucht. Die berühmte Schwinde der Reka bei St. Canzian ist gleichfalls unter dem dargelegten Gesichtspunkte zu betrachten. Auch dieser Fluß tritt in einen Höhleneingang, bald nachdem er das Gebiet des Flysches verlassen und das des Kalkes betreten hat. Sein unterirdischer Lauf ist durch die Sektion Küstenland des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins so weit verfolgt worden als möglich. Nach einer kurzen Strecke tritt er wieder in zwei gewaltigen Lichtlöchern, großer und kleiner Trichter genannt, zutage, die wahrscheinlich durch Einbruch des Höhlendaches entstanden sind; der sie trennende schmale Kamm wölbt sich wie eine natürliche Brücke über die Reka (8705). In der Nachbarschaft liegen noch mehrere ähnliche große Löcher, deren Boden verschüttet ist, weswegen sich nicht entscheiden läßt, ob sie in gleicher Weise wie der große und kleine Trichter von St. Canzian

entstanden und alte Lichtlöcher sind; möglicherweise sind sie auch alte, außer Gebrauch gesetzte Schlundlöcher, die sich durch Abbruch ihrer Wandungen erweitert haben.

Man kann nicht jedem großen am Boden verschütteten Loche in einem alternden Karstgebiete ansehen, wie es entstanden ist. Es kann ein typischer Karsttrichter oder eine echte Doline von riesigen Dimensionen, es kann der Überrest eines Höhleneinbruches, also eines Lichtloches sein, das zu einer Höhle herabführte, endlich ein erweiterter Schlund. Im ersteren Falle wird das Loch trichterförmig in Klüfte auslaufen, in den beiden anderen zu Höhlen führen, die, wenn sie längere Zeit außer Gebrauch sind, verschüttet sein können. Fig. 4 zeigt uns das verschiedene Verhalten dieser drei Typen. Im oberen Teile ist eine Höhle H mit ihrem frischen Schlundloche (III) und einem Lichtloche (II) sowie einem Karsttrichter dargestellt, den sie entwässert. Im unteren Teile sieht man dieselben Formen im gealterten Zustande wieder, aber das Schlundloch und das Lichtloch unten verstürzt und oben abgeböscht, was sich im Laufe der Zeit einstellt, so daß sie der Doline oberflächlich sehr ähnlich geworden sind. Zwischen ihnen haben sich noch Teile der alten Höhle erhalten, die durch die herabgestürzten Schuttmassen gänzlich isoliert worden sind. Sie wachsen allmählich mit Tropfsteinbildungen und dem feinsten Lehm zu, welchen die Sickerwässer herbeiführen. Im gewöhnlichen Sprachgebrauche werden alle Karstlöcher als „Dolinen“ bezeichnet, und lange Zeit hat man

gemeint, daß alle Karsttrichter Einsturzgebilde seien. Das gilt jedoch nur von verhältnismäßig wenigen Löchern, in erster Linie für die großen und tiefen mit steilen Wan-

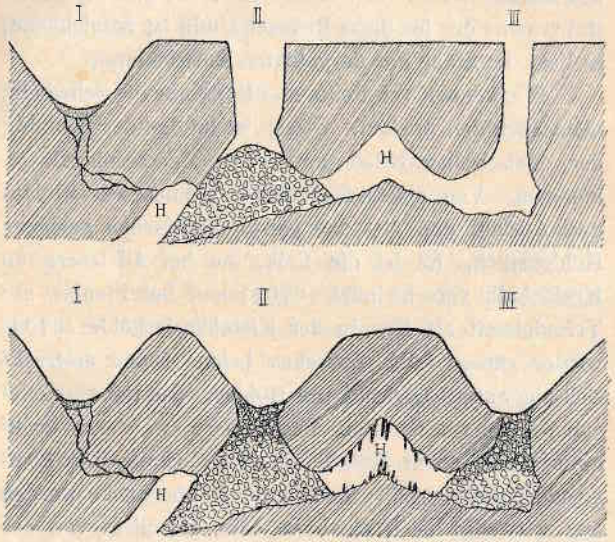

Fig. 4. Typen von Karstlöchern:
I Echte Doline, II Lichtloch, III Schlundloch.

dungen, nicht aber für die zahllosen Trichter. Von den steilwandigen Formen sind aber wahrscheinlich nicht wenige erweiterte Schlundlöcher, denn solche sind keineswegs selten. Unfern der Höhlen von St. Canzian haben wir den 200 *m* tiefen Schlangenschlund (Kačna jama) und den noch tieferen Schlund von Trebič, die beide gele-

gentlich von Rekawasser erreicht werden; sie sind die Schwinden einer alten Reka oder von Nebenflüssen von ihr, entstanden zu einer Zeit, als die Flyschbedeckung des Karstes weiter reichte als heute. Ihr geselliges Auftreten nahe der heutigen Rekaschwinde ist bezeichnend, es liegt im Sinne der dargelegten Entwicklung.

Wir kennen von Foiba und Reka nur die Schwinde, nicht auch den Auslauf. Dieser ist infolge der Senkung der adriatischen Küste unter den Meeresspiegel gekommen. Von einem Karstflusse kennen wir Einlauf und Auslauf und fast das ganze dazwischen gelegene Höhlenstück. Es ist die Poik, die bei Adelsberg im Kreidekalk verschwindet (8702) und bei Planina auf Triasdolomit als Unz in der Kleinhäuslerhöhle (8704) wieder zutage tritt. Zwischen beiden Orten erstreckt sich ein wahres Geflecht von Höhlen. Die tiefst gelegenen werden von der Poik durchmessen, welche in ihnen unterirdisch einen Zufluß, die vom Zirknitzersee kommende Zirknitz erhält; die höheren Höhlenstücke werden nur zeitweilig bei Hochwasser oder gar nicht von der Poik erreicht; sie sind Kanäle, die benutzt wurden, als die Talbildung unterhalb Planina noch nicht so weit entwickelt war wie heute. Die berühmte Adelsberger Grotte gehört zu ihnen. Nicht mehr betreten vom rinnenden Wasser ist sie nunmehr lediglich der Schauplatz der Tätigkeit des Sickerwassers, das durch die feinen Spältchen und Klüftchen des Höhlendaches hindurchwandert, unterwegs Kalk löst und diesen wieder ausscheidet, wenn es vom Höhlendache herabtropft. So sind die

Tropfsteingebilde (8307) entstanden, derentwegen die Adelsberger Grotte so berühmt ist. Einige tote, d. h. vom Wasser nicht mehr durchströmte Höhlengänge scheinen durch Einsturzmassen abgeschlossen zu werden, denen oberflächlich große Löcher entsprechen.

Solche Löcher entstehen notwendigerweise, da das Höhlendach im Laufe der Zeit durch Abbröckeln kleiner Teile schwächer und schwächer wird und schließlich einstürzen muß. Ganze Reihen von Einstürzen werden nach längerer Zeit oberflächlich den unterirdischen Flußlauf bezeichnen. Er wird durch sie schließlich bloßgelegt werden, wie es mit dem Rakbache zwischen dem Zirknitzersee und der Gegend von Planina geschehen ist; das Höhlendach wird mehr und mehr auf einzelne natürliche Brücken beschränkt werden, wie sich eine solche bei St. Canzian im Walde in ähnlicher Weise über den Rakbach wölbt, wie bei St. Canzian bei Divača zwischen den beiden großen Löchern über die Reka, endlich werden auch sie verschwinden und der Höhlenfluß wird schließlich ein gewöhnlicher Fluß werden; seine Höhle wird sich in ein Tal verwandelt haben. Es ist wohl möglich, daß manche der steilwandigen Täler des kroatischen und nordbosnischen Karstes solche bloßgelegte Höhlen sind; doch ist der Beweis bisher dafür noch nicht beigebracht worden. Sehr wahrscheinlich ist eine solche Entwicklung für das Stück des Rekatales, das unmittelbar oberhalb der Höhlen von St. Canzian auf Kalk verläuft, sowie für die Schlucht der Ardèche in Südfrankreich, über welche sich als letzter Überrest des Höhlendaches die natürliche

Brücke: Pont d'Arc mit einer Spannweite von 59 *m* und einer Öffnung von 34 *m* Höhe wölbt. Ist gleichzeitig mit der Öffnung der Höhlen das Karstphänomen der Umgebung gealtert, ist diese bis nahe an den Karstwasserspiegel abgetragen worden, oder hat sie sich in einen dicken Mantel von Verwitterungslehmen gehüllt, so stellt sich auch hier normale Oberflächenentwässerung ein mit der sie begleitenden Tallandschaft; letztere ist dann das Endstadium der Umbildung der Karstlandschaft.

Die durch die Verschiedenheit ihrer Lage bedingten verschiedenen Beziehungen zwischen Karstwasser und Flußwasser entsprechen genau denjenigen, welche zwischen letzteren und dem Grundwasser herrschen. Ein in das Grundwasser einschneidender Fluß wird von jenem gespeist, ein über dem Grundwasser sich bewegender Fluß gibt bei permeablem Bette Wasser an dasselbe ab und kann sich dabei ganz verlieren. So enthält entweder der Fluß Grundwasser, oder dieses Flußwasser. Nicht anders ist es mit den Karstflüssen und dem Karstwasser. Aber es gibt doch einen Unterschied. Das im Gerölle versitzende Flußwasser kann sich hier kein bestimmtes Bett offen halten und sein zwischen den Rollsteinen passierendes Wasser wird dabei gereinigt. Anders der Karstfluß: er weitet die Fugen, die ihn aufschlucken, aus; denn er vermag durch die mitgeführten Rollsteine eine nicht geringe mechanische Erosion auszuüben. Er bildet Höhlen mit Auswaschformen, mit Wirbellöchern und Nischen, während das Karstwasser, sich langsamer bewegend und nicht mit Reibsteinen ausgestattet, vornehmlich auf chemischem Wege die Klüfte erweitert. In den aus dem Karstgefüge hervorgegangenen, häufig in einzelne, über oder nebeneinander gelegene Stränge zerfallenden Höhlen behält das Flußwasser seine wesentlichen Eigenschaften bei, wenn es keine zu starke Mehrung durch Karstwasser erfährt; es tritt nicht selten noch schlammig getrübt wieder zutage. Der Auslauf von unterirdischen Karstflüssen fördert andere Wässer als die eigentlichen Quellen des Karstes; wir möchten diese daher von den Flußausläufen scharf scheiden, was im allgemeinen auf Grund der chemischen Zusammensetzung möglich sein wird; das Karstwasser ist sehr hart, das Flußwasser weicher. Auch die Form des Zutagetretens ist in typischen Fällen verschieden, aus breitem Höhlentore oder tiefem Kessel kommt der Karstfluß, aus Klüften und Fugen der Karstquell; doch wird anfänglich auch der Karstfluß, wie wir gesehen haben, aus Fugen auslaufen, und die Mündung eines Karstquells kann sich längs vielbenutzter Höhlentore erweitern. Es ist daher Vorsicht geboten, bloß nach der Form ihrer Umfassung Karstquellen und Flußausläufe zu scheiden.

Mit den dargelegten Erwägungen können wir die Gesamtheit der Karsterscheinungen erklären, von denen wir allerdings nur einzelne wenige Typen kennen gelernt haben. Dieselben führen uns jedoch dem Verständnisse verwickelterer Fragen näher. Wir brauchen vielfach nur leichte Modifikationen unserer Annahmen eintreten zu lassen, um weitere Fälle zu begreifen. Wir haben in Fig. 5 angenommen, daß ein Fluß über einen

Brücke: Pont d'Arc mit einer Spannweite von 59 *m* und einer Öffnung von 34 *m* Höhe wölbt. Ist gleichzeitig mit der Öffnung der Höhlen das Karstphänomen der Umgebung gealtert, ist diese bis nahe an den Karstwasserspiegel abgetragen worden, oder hat sie sich in einen dicken Mantel von Verwitterungslehmen gehüllt, so stellt sich auch hier normale Oberflächenentwässerung ein mit der sie begleitenden Tallandschaft; letztere ist dann das Endstadium der Umbildung der Karstlandschaft.

Die durch die Verschiedenheit ihrer Lage bedingten verschiedenen Beziehungen zwischen Karstwasser und Flußwasser entsprechen genau denjenigen, welche zwischen letzteren und dem Grundwasser herrschen. Ein in das Grundwasser einschneidender Fluß wird von jenem gespeist, ein über dem Grundwasser sich bewegender Fluß gibt bei permeablem Bette Wasser an dasselbe ab und kann sich dabei ganz verlieren. So enthält entweder der Fluß Grundwasser, oder dieses Flußwasser. Nicht anders ist es mit den Karstflüssen und dem Karstwasser. Aber es gibt doch einen Unterschied. Das im Gerölle versitzende Flußwasser kann sich hier kein bestimmtes Bett offen halten und sein zwischen den Rollsteinen passierendes Wasser wird dabei gereinigt. Anders der Karstfluß: er weitet die Fugen, die ihn aufschlucken, aus; denn er vermag durch die mitgeführten Rollsteine eine nicht geringe mechanische Erosion auszuüben. Er bildet Höhlen mit Auswaschformen, mit Wirbellöchern und Nischen, während das Karstwasser, sich langsamer bewegend und nicht mit Reibsteinen ausgestattet, vornehmlich auf chemischem Wege die Klüfte erweitert. In den aus dem Karstgefüge hervorgegangenen, häufig in einzelne, über oder nebeneinander gelegene Stränge zerfallenden Höhlen behält das Flußwasser seine wesentlichen Eigenschaften bei, wenn es keine zu starke Mehrung durch Karstwasser erfährt; es tritt nicht selten noch schlammig getrübt wieder zutage. Der Auslauf von unterirdischen Karstflüssen fördert andere Wässer als die eigentlichen Quellen des Karstes; wir möchten diese daher von den Flußausläufen scharf scheiden, was im allgemeinen auf Grund der chemischen Zusammensetzung möglich sein wird; das Karstwasser ist sehr hart, das Flußwasser weicher. Auch die Form des Zutagetretens ist in typischen Fällen verschieden, aus breitem Höhlentore oder tiefem Kessel kommt der Karstfluß, aus Klüften und Fugen der Karstquell; doch wird anfänglich auch der Karstfluß, wie wir gesehen haben, aus Fugen auslaufen, und die Mündung eines Karstquells kann sich längs vielbenutzter Höhlentore erweitern. Es ist daher Vorsicht geboten, bloß nach der Form ihrer Umfassung Karstquellen und Flußausläufe zu scheiden.

Mit den dargelegten Erwägungen können wir die Gesamtheit der Karsterscheinungen erklären, von denen wir allerdings nur einzelne wenige Typen kennen gelernt haben. Dieselben führen uns jedoch dem Verständnisse verwickelterer Fragen näher. Wir brauchen vielfach nur leichte Modifikationen unserer Annahmen eintreten zu lassen, um weitere Fälle zu begreifen. Wir haben in Fig. 3 angenommen, daß ein Fluß über einen

bereits vorhandenen Kalksteinsattel hinwegfließe und haben gesehen, daß er, sobald er einschneiden muß, sich in demselben verliert. Letzteres kann auch eintreten, wenn sich ein Kalksteinsattel in einem Flußgebiete hebt. Kann der Fluß sein Bett nicht einschneiden in dem Maße, als die Hebung erfolgt, so wird er infolge derselben über das Karstwasser geraten, das nicht mit dem Sattel ansteigt, und dann ist es um ihn geschehen: er wird ein Höhlenfluß werden, welcher dem früher betrachteten in allen Stücken gleichen kann. Es ist von Fall zu Fall festzustellen, welche Entwicklung eingetreten ist, ob der Fluß lediglich infolge seines Einschneidens verschwunden ist, oder ob dies infolge einer stattgehabten Hebung geschehen ist. Sehr interessant ist, wenn ein Fluß über eine Karstregion hinwegfließt, die gleichzeitig Hebungen und Senkungen erfährt, vielleicht infolge einer in der Tiefe vonstatten gehenden Faltung. Ein kräftiger, an Sinkstoffen reicher Fluß wird unter normalen Umständen die sich senkenden Felder verschütten und die sich hebenden durchsägen können; er wird sich seinen Lauf offen halten quer über die sich bewegende Bühne. Im Karstgebiete ist dies viel schwerer möglich. Das Durchsägen der Sättel kann leicht in der eben geschilderten Weise unmöglich gemacht werden, wenn es zur Entwicklung eines Höhlenflusses kommt; auf beweglicher Karstbühne werden sich manchmal nur die Flußstücke erhalten, die auf Senkungsfelder fallen, und diese werden vielfach als permanente oder periodische Seen entgegentreten. (Vgl. Fig. 5.)

Das Nordwestgestade der Adria ist ein Karstgebiet, das noch in jüngster Zeit erhebliche Krustenbewegungen erfahren hat und solche noch heute erfährt. Nur ein Fluß des Okkupationslandes, nämlich die Narenta, hat auf diesem beweglichen Karstboden seinen Weg zum Meere offen gehalten; alle anderen sind mehr oder weniger durch dessen Krustenbewegungen vernichtet worden. Ein altes Gerinne kann man zur Not noch quer durch die gehobenen und gesenkten Teile des Landes verfolgen; es ist die Mušica an der montenegrinischen Grenze. Sie kommt oberflächlich nicht weiter als bis an den Südwestsaum des obersten Senkungsfeldes, des Feldes von Gacko oder Gacko polje (8733), das quer zu ihrem Lauf eingebrochen ist, und hat dieses mit ihren Anschwemmungen eingeebnet. Den davor sich erhebenden Horst hat sie nicht zu durchmessen vermocht; an seinem Saume verschwindet sie in mehreren Schlundlöchern und strömt in Höhlen weiter, so tief, daß sie auf weite Entfernung nur zweimal sichtbar wird, in einem tiefen Kessel bei Ključ (8734) und im Senkungsfelde von Fatnica, dem Fatničko Polje (8735). In letzterem kommt sie aber nicht regelmäßig zutage, nur bei Hochwasser überschwemmt sie es im Verein mit den Karstwässern; im Hochsommer fließt sie tief unter dem Boden. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist die mächtige Quelle der Trebinjčica unfern Bilek der Auslauf der verschwundenen Mušica, die unterirdisch noch so manchen verschwundenen Bach aufgenommen hat. Bis Trebinje fließt die Trebinjčica als gewöhnlicher Oberflächenfluß, dann er-

reicht sie das letzte Senkungsfeld, das quer an ihrem Laufe eingebrochen ist, das Pfaffenfeld oder Popovo Polje (8736). Hier verschwindet sie bei gewöhnlichem Wasserstande wie auf einem Siebe und quert unterirdisch den Horst, der sich zwischen dem Popovo Polje und dem Meere aufgetürmt hat. Die Omblaquelle bei Ragusa (8718) dürfte der regelmäßige Auslauf der verschwundenen Trebinjčica sein. Bei Hochwasser liegen die Dinge anders; dann treten aus zahlreichen Klüften und Spalten des Popovo Polje die Karstwässer empor und füllen es an; es entsteht ein großer See, der durch zahlreiche Schlundlöcher nach verschiedenen Richtungen abläuft.

Rechts der Narenta hat es bisher nicht gelingen wollen, im westlichen Bosnien einzelne Glieder eines unterirdischen Flußsystems kennen zu lernen. Die ursprüngliche Hydrographie ist gänzlich verschwunden und die Oberflächengestaltung wird in hohem Maße durch die Senkungsfelder bestimmt, welche mitten im gehobenen Lande eingebrochen sind, und zwar so tief, daß sie vom Karstwasser betreten werden können. Es tritt zur Zeit seines niederen Standes lediglich in oft ziemlich starken Kluftquellen, gewöhnlich an den Nordostseiten der Senkungsfelder zutage, durchmißt dieselben, wobei es sie eingeebnet hat, und verschwindet an den Südwestflanken wieder am Fuße des höheren Landes. Zur Zeit seines Hochstandes aber erfüllt es die Senkungsfelder und letztere erscheinen dann als große Seen. Daß man auf demselben Fleck Erde erst fischt und dann Getreide erntet, gilt nicht bloß vom Zirknitzersee, sondern auch von zahl-

reichen Karstpoljen des Okkupationslandes. Fig. 5 gibt in ihrem unteren Teile eine schematische Darstellung der Überschwemmung der Karstpoljen nach den Ergebnissen von Dr. Grund; sie ist gleich den Figuren 2 und 3 von ihm selbst gezeichnet.

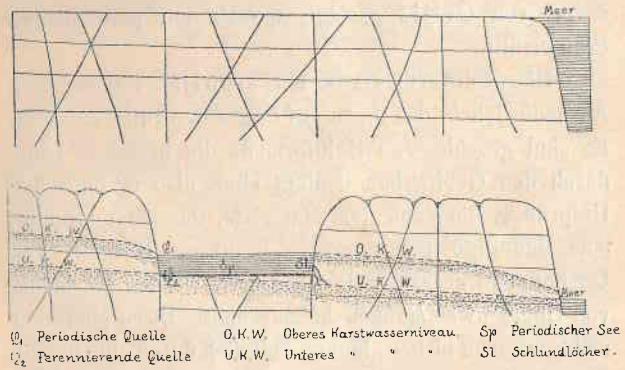

Fig. 5. Entstehung und Überschwemmung der Karstpoljen.
Oben das ungestörte, unten das ungleichmäßige gehobene Land mit einem Polje.

Wir sehen das untere Karstwasserniveau (*UKW*), welches die untere Grenze seiner Schwankungen bezeichnet. Es steht links vom Polje höher als dessen Boden, rechts aber tiefer. Wir haben daher links perennierende Karstquellen (Qu_2), rechts Schlundlöcher (*Sl*). Schwillt das Karstwasser bis zu seinem oberen Niveau (*OKW*) an, so entwickeln sich links periodische Quellen (Qu_1) und es füllt sich das Polje bis zu jener Höhe mit Wasser,

welche dem oberen Niveau rechts entspricht und es entsteht der See (*Sp*). Er verschwindet, wenn sich das Karstwasser wieder bis zu seinem unteren Niveau senkt, er wird aber bestehen bleiben, wenn das Karstwasser im Niveau *OKW* verharrt. Während der Eiszeit ist letzteres geschehen, und die Karstpoljen waren, wie zuerst von Cvijić gezeigt, damals mit permanenten Seen erfüllt.

Hiernach verlieren die Karstpoljen viel von dem Absonderlichen, das ihnen auf den ersten Blick anhaftet. Es sind geschlossene Hohlformen, die in erster Linie durch den Gebirgsbau bedingt sind, also tektonischen Ursprungs, die dank dem Materiale, das sie umrandet, eine auffällige Hydrographie besitzen. Gespeist von Quellen und unterirdisch entwässert, werden sie häufig von Überschwemmungen heimgesucht. Diese sind aber nicht, wie man bisher glaubte, lediglich durch eine Steigerung des Zuflusses seitens der regelmäßigen Quellen bedingt, sondern vor allem dadurch, daß das Karstwasser ringsum steigt. Es kommt bei hohem Stande allenthalben an den Flanken des Poljes zutage, welche unter das angeschwollene Karstwasser herabreichen; zahlreiche periodische Quellen, Hungerbrunnen genannt, beginnen zu laufen, und Schlundlöcher, in welchen sonst das Poljewasser verschwand, fangen an, Wasser zu speien. Diese hydrographischen Eigentümlichkeiten sind aber keineswegs bloß den Senkungsfeldern eigentümlich, die im Karstgebiete eingebrochen sind, sie stellen sich überall auch dort ein, wo rings umwallte Hohlformen in das

obere Niveau des Karstwassers hineinreichen. Hebt sich beispielsweise in einem dolinenreichen Karstgebiete das Karstwasserniveau, z. B. infolge der Senkung eines Küstengebietes, so werden die größeren Dolinen zeitweilig überschwemmt und dadurch am Boden eingeebnet, was in der Tat von manchen Dolinen an unseren Küsten gilt. Kommen die ausgedehnten, durch Dolinenbildung erniedrigten, rings umwallten Hohlformen der Uvala in das Bereich des Karstwassers, so wird ihr Boden gleich dem der Poljen von ihren Zuflüssen eingeebnet, sie erfahren bald Überschwemmungen, bald liegen sie trocken, kurz sie sehen aus und verhalten sich wie echte, durch Einbruch gebildete Karstpoljen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß manches ebene Feld im Karste also entstanden ist, wir möchten es z. B. vom Sumpfe bei Mostar, dem Mostarsko blato (8740) annehmen; ja Cvijić schreibt sogar allen Poljen einen solchen Ursprung zu, womit er aber gewiß zu weit geht.

Wir müssen uns versagen, hier die mannigfachen Einzelheiten zu betrachten, welche das Karstphänomen infolge ungleicher Widerstandsfähigkeit des Gesteins und der Verschiedenheit von dessen Lagerung darbietet, wir können auch nicht auf die Verschiedenheiten eingehen, die sich unter verschiedenem Klima infolge der verschieden starken Wirkungen kälteren und wärmeren Wassers bei verschieden dichtem Pflanzenkleide entwickeln. Es muß genügen, gezeigt zu haben, daß die Löslichkeit des Kalkes in reinem und im kohlesäurehältigen Wasser das Maßgebende bei der Entwick-

lung aller Einzelphänomene ist. Sie ermöglicht die oberflächliche Ätzung des Gesteins, welche in den Karren und in den Karstfeldern so deutlich entgegentritt, sie bedingt aber auch die Durchlässigkeit des Kalksteins für Wasser. An sich ist er nicht stärker permeabel als andere Gesteine, als Granit, als Basalt oder als Schiefer. Er wird es aber in hohem Maße, indem die Sickerwässer die Klüfte durch Lösung erweitern, während sie dieselben in unlöslichen, aber chemisch verwitterbaren Gesteinen mit den Verwitterungsrückständen verschmieren. So kommt es, daß Kalkstein und Granit von gleicher Klüftigkeit sich ganz verschieden gegenüber den Sickerwässern verhalten.