

ARBEITEN
DES
GEOGRAPHISCHEN INSTITUTES

DER
K. K. UNIVERSITÄT WIEN.

HEFT 2.

D^{R.} JOVAN CVIJIC,
DAS KARSTPHÄNOMEN.

WIEN UND OLMÜTZ.
ED. HÖLZEL.

1893.

DAS
KARSTPHÄNOMEN.

VERSUCH
EINER
MORPHOLOGISCHEN MONOGRAPHIE

VON
DR. JOVAN CVIJIĆ
PROFESSOR DER GEOGRAPHIE AN DER HOCHSCHULE ZU BELGRAD.

GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN.
HERAUSGEGEBEN VON
PROF. DR. ALBRECHT PENCK IN WIEN.

BAND V. — HEFT 3.

WIEN.
ED. HÖLZEL
1898.

Zugleich 2. Heft der Arbeiten des geographischen Institutes der k. k. Universität Wien.

EINLEITUNG.

Die Oberfläche vieler Kalkgebiete ist durch abgeschlossene Hohlformen charakterisiert, welche der Gleichsinnigkeit der Abdachung entbehren und von Penck *Wannen* genannt werden.¹⁾ Es sind dies zahlreiche kleine rundliche Vertiefungen oder Dolinen, langgedehnte gewundene Wannen oder blinde Thäler, und breite und lange Wannen oder Poljen; überdies zeigt die felsige Oberfläche dieser Gebiete oft tiefe schmale Furchen, getrennt durch scharfe Firste; das sind die Karren. Im Innern der Kalkmassen treten verticale und horizontale, oft weitverzweigte Höhlen auf, welche nicht selten unterirdische Flussläufe bergen. Alle diese Formen stehen im Gegensatz zu jenen der impermeablen Gesteinsarten und verdanken ihre Entstehung der lösenden Wirkung, welche das atmosphärische Wasser direct oder indirect durch seinen Kohlensäuregehalt auf den Kalk ausübt. Nur auf reinen und nackten Kalksteinen sind daher diese Formen typisch ausgebildet und die Oberflächengestaltung des Landes ist allein von denselben beherrscht. Je mehr der Kalkstein thonige Bestandtheile enthält und je weniger die Lösungsrückstände entfernt werden, desto mächtiger wird der entstehende Zersetzungsléhm, desto schwächer treten jene Phänomene auf, und kommen in der Oberflächengestaltung des Landes nicht mehr zur Geltung.

Alle jene Formen, welche auf nackten Kalksteinen vermöge der Auflösung derselben durch das kohlensäurehaltige Wasser auftreten, fassen wir als Karstphänomene zusammen und nennen ein Kalkgebiet, in welchem Karren, Dolinen, blinde Thäler und Poljen als die Formen der Landoberfläche erscheinen und welches durch Höhlen und unterirdische Flüsse ausgezeichnet ist, ein Karstgebiet. Die Gesamtheit der Formen eines Karstgebietes nennen wir eine Karstlandschaft.

In verschiedenen Karstgebieten sind bei der geologischen Aufnahme oder gelegentlich der geographischen Untersuchungen einzelne Karstphänomene bemerkt und nicht selten auch einer eingehenden Betrachtung unterzogen worden. Weit mehr als in allen übrigen sind diese Phänomene in den classischen Karstgebieten von Krain, Istrien und im ganzen östlichen adriatischen Küstenlande, dann in den von Süd-Frankreich untersucht worden, so dass diese Karstländer und ihre Karsterscheinungen zu den besterforschten gehören.

¹⁾ Penck, »Die Formen der Erdoberfläche«. Verh. d. IX. deutschen Geographentages, 1891, p. 29.

Die Berichte über die geologische Aufnahme des adriatischen Karstes enthalten wichtige Beobachtungen über die morphologischen und hydrographischen Eigenschaften der einzelnen Karstgebiete, über ihr Verhältnis zu der Tektonik, sowie auch über die Bildung derselben, Wir heben hier von den Arbeiten, welche einzelne Gebiete des adriatischen Karstes behandeln, nur jene von Stache, Tietze, v. Mojsisovics und Reyer hervor.¹⁾ — Mit der Erforschung aller Karstphänomene im Krainer Karste und Feststellung ihrer Charaktere im allgemeinen befasste sich Schmidl²⁾ in seinem grundlegenden Werke über »Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas«. Er hat sich im Jahre 1850 vorgenommen, »eine genaue Topographie der Grotten und Höhlen« in Krain zu entwerfen und sein Werk enthält eine Fülle von präzisen Beobachtungen über Dolinen, insbesondere über die großen, steilwandigen Dolinen nördlich von Planina und über die tiefen Schloten von Černa und Piuka Jama, weiter über die Mehrzahl der Höhlen und unterirdischen Wasserläufe in Krain. Ein ähnliches Ziel verfolgt für den Triestiner Karst die Arbeit von Moser.³⁾ Supan⁴⁾ fasst alle Resultate, welche über die Karstphänomene des adriatischen Karstes bekannt waren, in eine kurze Übersicht zusammen.

Über die Karstphänomene in Süd-Frankreich und im Jura hat Fournet eine eingehende, vorwiegend auf seinen eigenen Beobachtungen beruhende Darstellung entworfen.⁵⁾ Im Werke von Daubrée sind zahlreiche Ergebnisse der Forschungen in französischen Karstgebieten zusammengestellt.⁶⁾ Durch die Untersuchungen von Martel sind die Karstphänomene in den Causses der Cevenen bis zu einem solchen Grade erforscht, dass sie, auch in dieser Hinsicht, als ein Seitenstück zu jenen in Krain und im adriatischen Karste betrachtet werden können. Die Dolinen verschiedener Typen sind beschrieben und vermessen worden, einige unterirdische Flussläufe sind erforscht, so dass die Kenntnis der Oberflächengestaltung und der hydrographischen Verhältnisse der einzelnen Plateaus von Causses wesentlich gefördert ist.⁷⁾

Auch eine systematische Behandlung der einzelnen Karstphänomene fehlt nicht. Über Karren sind zahlreiche Beobachtungen veröffentlicht; eine erschöpfende und bis zu einem gewissen Grade abschließende Arbeit über denselben ist die von Heim.⁸⁾ Die Arbeit von Ami Boué »Über die Karst- und Trichterplastik« ist die erste systematische, wenn auch lückenhafte Behandlung der morphologischen Eigenschaften der

¹⁾ Stache, »Die liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte.« Abh. d. geol. R.-A. Bd. XIII. H. 1, 1889. — Tietze, »Geol. Darstellung der Gegend von Karlstadt und dem nördlichen Theile des Canals der Morlacc«. Jhrb. d. geol. R.-A., 1873. — v. Mojsisovics, »Zur Geol. d. Karsterscheinungen.« Zeitschr. d. deutschen und österr. Alpenvereins, 1880. — Reyer, »Studien über das Karstrelief.« Mitth. d. k. k. geogr. Gesellschaft. Wien 1881, p. 76 u. 101. ²⁾ »Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas.« Wien 1854. ³⁾ »Der Karst.« Jahresber. über das k. k. Gymnasium in Triest, 1890. ⁴⁾ Supan, »Österreich-Ungarn.« 1889, p. 285. ⁵⁾ M. J. Fournet, »Hydrographie souterraine.« Mém. de l'Académie de Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon. VIII, 221—296. ⁶⁾ Daubrée, »Les eaux souterraines.« I, p. 296 u. w. ⁷⁾ Martel, »Sous terre.« Annuaire du Club Alpin. Français 1888, p. 267. Annuaire d. C. A. F. 1889, p. 102; Annuaire d. Cl. A. F. 1890, p. 204, und 1891, p. 224. Les nouvelles grottes des Cevennes. Soc. languedocienne de géographie 1889. T. XII, I und II Trimestre. — Revue de géogr. Décembre 1889, p. 426. — Les Cevennes. Paris 1890. De Launay et Martel, »Note sur quelques questions relatives à la géol. des grottes et des eaux souterraines.« Bull. de la Soc. géol. de France. XIX, 1891, p. 142. ⁸⁾ »Über die Karrenfelder.« Jahrbuch d. Schweizer Alpenclub. 1877—1878. Bd. 13, p. 421—433.

Dolinen.¹⁾ Über blinde Thäler und Poljen besteht keine erschöpfende Darstellung. Beide Karstphänomene, insbesondere die blinden Thäler, sind in verschiedenen Karstgebieten beobachtet und beschrieben worden, so dass auf der Hand dieser zahlreichen Beobachtungen eine systematische Behandlung derselben zulässig wäre. Die Höhlen waren der Gegenstand zahlreicher Monographien, wie derjenigen von Rosenmüller und Tillesius²⁾, von Marcel de Serres³⁾, Boyd Dawkins⁴⁾, Fruwirth⁵⁾ u. a.

Die Karstphänomene in ihrer Gesamtheit sind bislang nur sehr selten behandelt worden. Selbst in den neueren ausgezeichneten Werken von v. Richthofen⁶⁾ und De la Noë und De Margerie⁷⁾ ist von ihnen in ihrer Gesamtheit nicht die Rede. Neumayr⁸⁾ entwarf im Capitel »Karstbildung« in seiner »Erdgeschichte« eine kurze, aber gediegene Übersicht des gesammten Karstphänomens. Die Karren, welche zuerst Zippe im adriatischen Karste beobachtete, sind hier als Karstphänomen beschrieben worden; die Bildung der Dolinen, Höhlen und Poljen ist auf Grund der Beobachtungen, welche Mojsisovics und Tietze vortrachten, klar und scharfsinnig dargelegt. Polemischen Inhalts ist eine Arbeit von Tietze. Dieselbe beschäftigt sich mit der Discussion einiger Ansichten über die Entstehung verschiedener Karstphänomene und bespricht einzelne Eigenschaften derselben.⁹⁾

Trotzdem also zahlreiche Angaben in der Literatur über das Karstphänomen vorhanden sind, fehlt eine zusammenfassende Monographie des gesammten Phänomens und der Verfasser hat sich zur Aufgabe gestellt, auf Grund seiner eigenen Beobachtungen und literarischen Quellen einen Versuch über die Oberflächenformen des Karstes zu wagen, bei welchem die Höhlen nur insoferne berücksichtigt wurden, als sie mit diesen Oberflächenformen in Verbindung stehen.

Die Beobachtungen, welche der Verfasser gemacht hat, wurden in Karstgebieten Ost-Serbiens, insbesondere im Kučaj- oder »Golubinja«-Gebirge angestellt, wo er sich durch drei Sommer mit den geographischen Untersuchungen und der geologischen Aufnahme befasst hat. Zum Zwecke der weiteren Studien des Karstphänomens unternahm er 1889 und 1892 zwei Bereisungen der adriatischen Karstgebiete, welche zusammen circa drei Monate dauerten. Die Gegenden, welche bei diesen Gelegenheiten eingehender untersucht wurden, sind die Umgebung von Unterloitsch und die Strecke zwischen Adelsberg und Planina in Krain, der Triestiner Karst, das Fiumaner Gebiet, sowie einige Gegenden der südistrischen Karstplatte, zwischen Pisino, Gimino und dem Arsathale und von Albona bis zum Monte Maggiore, der nordwestliche Theil des montenegrinischen Karstes, die Umgebung von Gacko in der Hercegovina und einige Strecken in Dalmatien. Überdies wurden Excursionen im mährischen Devongebiete und auf dem Dachsteinplateau gemacht.

Von großem Werte waren für meine Arbeit die Angaben, welche durch die Güte des Herrn H. Müller in Triest dem geographischen Institute der Wiener Universität zur wissenschaftlichen Verwertung zur

¹⁾ Sitzungsber. d. kais. Akademie d. Wissensch. in Wien, math.-naturw. Cl. XLIII. 1861. ²⁾ Beschreibung merkwürdiger Höhlen. I und II, 1865. ³⁾ Essai sur les cavernes à ossements, 3-ième édit. Paris, Lyon, Montpellier 1838. ⁴⁾ Boyd Dawkins, »Die Höhlen und die Ureinwohner Europas«, 1876. ⁵⁾ »Über Höhlen.« Zeitschr. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins, 1885. Bd. XVI. ⁶⁾ »Führer für Forschungsreisende.« Berlin 1886. ⁷⁾ »Les formes du terrain.« Paris 1888. ⁸⁾ Neumayr, »Erdgeschichte.« I., p. 453–461. ⁹⁾ Tietze, »Zur Geol. der Karsterscheinungen.« Jhrb. d. geol. R.-A. 1880. XXX.

Verfügung gestellt wurden. Einige Mitglieder der Section Küstenland des deutschen und österreichischen Alpenvereins, weiland Bergrath Hanke, dann die Herren Müller und Marinich unternehmen seit einer Reihe von Jahren eine systematische Erforschung des Triestiner Karstes. Über die Resultate ihrer zahlreichen Excursionen führen sie ein »Grottenbuch der Section Küstenland«, welches in zwei Bänden die Beobachtungen, Vermessungen und Pläne aller von ihnen untersuchten Dolinen und Höhlen enthält. Die Angaben aus diesen »Grottenbüchern« werden im folgenden, insbesondere bei der Feststellung der Typen der Dolinen, oft citiert werden.

Die Ausarbeitung des gesammten Beobachtungsmaterials an der Hand der Literatur wurde wesentlich gefördert durch die reiche Bibliothek der geologischen Abtheilung des k. k. naturhistorischen Hofmuseums in Wien, deren Benützung dem Verfasser in liberalster Weise gestattet wurde und derselbe fühlt sich veranlasst, Herrn Director Th. Fuchs seinen herzlichsten Dank hiefür auszusprechen.

Dem Vorstande des geographischen Institutes Universität Wien, in welchem die Arbeit ausgeführt wurde, meinem hochverehrten Lehrer Dr. A. Penck statue ich für den mir geleisteten Beistand und vielfache Unterstützung meinen besten Dank ab.

Die Hauptglieder des Karstphänomens, welche durch ihr Zusammen-treten die Karstlandschaft bilden, sind oben bereits genannt worden. Sie werden im Folgenden einzeln besprochen. Zunächst sollen die Karren, welche den am besten gekannten Theil des Phänomens darstellen, eine kurze Erörterung finden. Ausführlicher wird die Betrachtung der am meisten verbreiteten und auffälligsten aller Karstphänomene, der Dolinen, sein, über welche verschiedene neue Beobachtungen mitgetheilt werden. Die Untersuchung der Karstthäler setzt naturgemäß eine Behandlung der Karstflüsse voraus, welche daher ein eigenes Capitel der Arbeit bildet. Den Poljen wird gleichfalls ein eigenes Capitel gewidmet, in welchem die Form und Wasserverhältnisse derselben eingehend dargelegt werden, wogegen die Bildung derselben nur in allge-meinsten Zügen behandelt werden konnte, weil einschlägige Beobachtungen fehlen. Hier bleibt für spätere Untersuchungen noch ein ausgiebiges Feld. Die Küste der Karstländer soll, unter Zugrundelegung der am adriatischen Gebiete, gewürdigt werden; auch hier bleibt die Lösung der Frage nach der Entstehung littoraler Karren der Zukunft vorbehalten. Den Schluss dieses Versuches über die Morphologie des Karstphänomens bildet die Betrachtung von dessen geologischer und geographischer Verbreitung.

I. Capitel: Die Karren.

Karren sind Oberflächenformen des reinen Kalksteines, welche aus schmalen Rinnen und dazwischengelegenen Firsten bestehen. Die ersteren sind meist einige Decimeter, gelegentlich aber auch 5—10 *m* tief, die letzteren ragen zwischen den Furchen bis zu annähernd gleicher Höhe auf; sie sind entweder messerartig zugeschärft oder oben ziemlich eben aber mit scharfen Rändern, in welchem Falle ihre Oberfläche durch seichte secundäre Furchen eine Art Kanellierung erhält, die gegen die tiefste Stelle des Terrains zu verläuft. Ausgedehnte mit zusammenhängenden Karrenbildungen bedeckte Flächen nennt man Karrenfelder.

Von diesen typischen Karren unterscheiden wir die breiten gewundenen Furchen, in welchen Auswaschungskessel häufig sind, die durch rundliche Firsten von einander getrennt werden.¹⁾ Dieselben werden von F. Simony auch als Karren bezeichnet, lassen sich aber von den typischen Vorkommnissen, denen alle Zurundung fehlt, leicht trennen.

Die echten Karren, Schratzen oder Lapiez und Lapiaz²⁾ sind zuerst aus den Alpen bekannt geworden, wo man sie im Hochgebirge, besonders in der Nähe der Schneegrenze in großer Häufigkeit entwickelt fand, was wohl die Ansicht förderte, dass die Karren überhaupt an bestimmte Höhen gebunden sind, wie Ratzel noch kürzlich aussprach.³⁾ Diese alpinen Karren wurden von v. Mojsisovics als Vertreter des Dolinenphänomens der Karstländer angesehen,⁴⁾ sind aber auch hier vorhanden.

Vielfach wurden die Karren an der adriatischen Meeresküste, sowie auch an derjenigen des Peloponnes und der Jonischen Inseln beobachtet. Ein besonders schönes Stück eines Karrenfeldes beschreibt Stache an der Westküste von Istrien zwischen Stignano und Fasano; die Firste zwischen den Furchen sind oft mehr als ein Meter hoch.⁵⁾ Hilber hat in der Bucht zwischen Punta Pizzale und Punta Maturaga im Norden von Parenzo Erosionserscheinungen an der Küste beobachtet, welche an die Karrenfelder der Alpen erinnern. Dieselben Gebilde hat er an der Küste der Scoglien Calbula und Barbaran bei Parenzo constatirt.⁶⁾ — Aus den Untersuchungen von Boblaye geht hervor, dass die Kalkküste von Peloponnes oft durch eine continuierliche Zone von Karren aus-

¹⁾ Simony, »Über die Spuren der vorgeschichtlichen Eiszeit im Salzkammergute«, »Bericht über die Mitth. der Freunde der Naturwiss. in Wien 1847«, I., p. 228.

²⁾ R e n e v i e r, »Monographie des Hautes-Alpes Vaudoises«. »Matériaux pour la carte géol. de la Suisse 1890«, p. 499. ³⁾ »Über Karren«. Leipzig 1891, p. 5. ⁴⁾ v. Mojsisovics, »Grundlin. d. Geol. von Bosnien-Hercegovina«, p. 226. ⁵⁾ S t a c h e, »Die liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte.« Abh. d. geol. R.-A. Bd. XIII. Heft 1, p. 14. ⁶⁾ »Hilber, geol. Küstenforschungen zwischen Grado und Pola am adriatischen Meere, nebst Mitth. über ufernahe Baureste«. Sitzungsber. d. kais. Akademie der Wiss. in Wien. Bd. XCVIII, Abth. I, p. 54.

gezeichnet ist.¹⁾ Auf der Südhälfte Ithaka's kommen diese Gebilde in den oberen Kreidekalken selbst im Meeresniveau vor.²⁾ Auf Kephallenia sind Karren auf den höchsten Gipfeln des Aenos, sowie auch im Meeresniveau entwickelt. Ein 6–10 m breiter Saum von Karrenbildungen, die nur geschwärzt sind durch einen Überguss organischer Substanzen, bildet vielfach die Grenze zwischen dem fest zusammenhängenden Gestein und dem Herrschaftsbereich des Meeres.³⁾

Auch die mittleren und die größeren Höhen des adriatischen Karstes zeigen Karren, und zwar habe ich dieselben bei Duare (Zadvarje) am Karstboden links von der Cetina in einer Höhe von 240 m und bei Oslji Dol unweit Bersec in Istrien in ca. 560 m Höhe beobachtet. In der Hercegovina kommen die Karren oft vor, sodass sie ihren eigenen Namen (Škrabe) haben; ich habe dieselben in der Gegend Ljut, im SW. des Gacko Polje in einer Höhe von ca. 930 m beobachtet. Im Karste vom nordwestlichen Montenegro traf ich Karren von 600 m Höhe angefangen bis zu den Gipfeln von 1500 m Höhe. Hassert hat ein Karrenfeld am Durmitor in Montenegro in einer Höhe von 2114 m beobachtet;⁴⁾ auch er erwähnt die Karren in verschiedensten Höhen des montenegrinischen Karstes. A. Boué hat karrenähnliche Gebilde im Karste zwischen Blagaj und Nevesinje bemerkt.⁵⁾ Zippe hat dieselben im Krainer Karste⁶⁾, Zittel am Velebit,⁷⁾ Hirz am Risnjakgebirge, nördlich von Fiume beobachtet.⁸⁾ J. Partsch erwähnt die Karren auf den Gipfeln der Kephallenia.⁹⁾

Auch aus anderen Karstgebieten wird das Vorkommen von Karren in den verschiedensten Meereshöhen berichtet. Penck hat dieselben auf den Felsen von Gibraltar beobachtet. Im Kučajgebirge Ost-Serbiens kommen karrenähnliche Gebilde an einigen Stellen in einer Höhe von 700–800 m vor. Im Jura finden sich Karren stellenweise in großer Häufigkeit¹⁰⁾; noch häufiger treten sie in den Bergen bei Toulon und an einigen Stellen in Sicilien auf.¹¹⁾ Im Libanon nehmen die Karren höhere Regionen von 1000–2000 m, doch kommen sie auch in 200 m Höhe vor. Barriet-el-Hadschar sind Steinwüsten, in welchen, nach Diener,¹²⁾ die Karren die wichtigsten Formen der Landoberfläche sind. In verschiedensten Höhen kommen die Karren im Antilibanon vor.

Diese Angaben dürften genügen, um zu zeigen, dass das Karstphänomen zu den wesentlichen Oberflächenformen des Karstgebietes gehört,¹³⁾ und dass also, wie übrigens Tietze schon zeigte,¹⁴⁾ die Karren nicht als eine nördliche Facies des Dolinenphänomens angesehen werden können. Vielmehr kommen Karren und Dolinen im ganzen adriatischen

¹⁾ »Notice sur les altérations des roches calcaires du littoral de la Grèce.« Journal de géologie 1831, III, p. 152. ²⁾ J. Partsch, »Kephallenia und Ithaka«. Ergänzungsheft 98 zu Petermanns Mitth. 1890, p. 6. ³⁾ J. Partsch, Op. cit. p. 19. ⁴⁾ Hassert, »Reise durch Montenegro«. 1893, p. 134 und 135. ⁵⁾ A. Boué, »Über die Karst- und Trichterplastik im Allgemeinen.« XLIII. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien 1861, p. 9. ⁶⁾ Schmidl, »Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas. Wien 1854, p. 211. ⁷⁾ Zittel, »Die Morlakei und ihre Bewohner.« Österr. Revue 1864, p. 227. ⁸⁾ Dragutin Hirz, Schriften d. südslav. Akad. 1889. Bd. 98, p. 166 (in serbokroatischer Sprache). ⁹⁾ J. Partsch, l. cit. ¹⁰⁾ Ratzel, »Über Karren«, p. 5. ¹¹⁾ Heim, »Über die Karrenfelder.« Jhrb. d. Schweizerischen A.-Vereines, Bd. 13, p. 411. ¹²⁾ Diener, »Libanon« 1886, p. 212. ¹³⁾ Neumayr, »Erdgeschichte« I, p. 453. ¹⁴⁾ Tietze, »Zur Geol. der Karsterscheinungen.« Jhrb. d. geol. R.-A. XXX 1880, p. 748; — Im Jahrbuche d. geol. R.-A. 1885, p. 32 und in den Verhandlungen d. geol. R.-A. 1886, p. 352 polemisierte Tietze mit Diener, welcher sich der Ansicht von v. Mojsisovics angeschlossen hat. (Diener, »Ein Beitrag zur Geol. des Centralstockes d. Julischen Alpen. Jhrb. d. geol. R.-A. 1884, p. 684 und im Libanon 1886, p. 226.)

Karste, sowie auch in anderen typischen Karstgebieten, vielfach mit einander vergesellschaftet, vor.

Die nordwestlichen Gehänge der Dolinen von Igrüste und Torovište im Kučajgebirge Ost-Serbiens zeigen eine Böschung von 30—50° und sind von Karren durchfurcht, deren Rinnen oft bis ein Meter tief sind und gegen den Boden der Dolinen zu verlaufen. Im Dugapass in Montenegro sind die nördlichen und westlichen Dolinengehänge durch typische Karren ausgezeichnet, welche meist aus schmalen Furchen und sehr scharfen Firsten bestehen. Bei der kleinen Festung Nozdre sind die steilen nordwestlichen Gehänge aller Dolinen von Karren durchfurcht. Die erwähnten Karren bei Gacko in der Hercegovina, sowie auch die bei Duare in Dalmatien kommen auf allen Dolinengehängen vor. In der Umgebung der Ochsenwiese am Dachstein beobachtete ich einige Dolinen, deren südwestliche Gehänge unzählige ausgeprägte Karren zeigen. Im Todten Gebirge, auf dem Plateau des Steinernen Meeres und in Berchtesgadener Bergen finden sich an den Dolinengehängen gut ausgebildete Karren. Fugger hat Karren in den Dolinen zwischen dem Salzburger Hochthron und dem Steinkaser und in der Doppeldoline am Gamsalkopf beobachtet. ¹⁾ Diener berichtet über den mit Dolinen vergesellschafteten Karren in den Julischen Alpen. Nach demselben Autor kommen Karren in den Dolinen zwischen Rahleh und Raschaja im Antilibanon vor. ²⁾

Aus obigen Zusammenstellungen erhellt, dass die Karren nicht an bestimmte Meereshöhen gebunden sind, sondern in allen Höhenlagen und in den verschiedensten Klimaten vorkommen, und namentlich ist hervorzuheben, dass sie sich keineswegs auf die Gebiete beschränken, welche während der Eiszeit vergletschert waren. Damit wird aus geographischen Gründen die noch kürzlich von Ratzel ³⁾ vertretene Ansicht haltlos, dass das Karrenphänomen durch die Schmelzwasser der alten Gletscher verursacht sei. ⁴⁾

Weder die Höhenlage, noch die räumliche Beschränkung auf die Gebiete der alten Vergletscherung sind also für die Verbreitung der Karren wesentlich. Die Bedingungen, unter welchen die Karren auftreten, sind folgende:

1. Sie kommen in jenen Gebieten vor, welche aus reinem Kalkstein bestehen; die erwähnten Karstgebiete, in welchen Karren in größerer Häufigkeit auftreten, sind aus solchen Kalksteinen zusammen-

¹⁾ Fugger, Der Untersberg. Zeitschrift d. deutschen n.-ö. A. V. 1880 p. 11.
²⁾ Diener, »Libanon« 1886 p. 212. ³⁾ Ratzel, »Über Karren.« p. 5. ⁴⁾ Wir weisen auch darauf hin, dass in den Gebieten der alten Gletscher postglaciale Karren constatirt sind; überdies sind ganz jugendliche Karren in verschiedenen Kalkgebieten beobachtet worden. Junge, in die Gletscherschliffe eingegrabene Karren wurden von Heim (Neujahrblatt der Zürich. Naturf. Gesellsch. 1874, p. 14, Fig. 1) constatirt. Auf dem Dachsteinplateau finden sich die Karren ausschließlich auf den zutage gehenden Kalkpartien und fehlen allenthalben auf dem von Moränen bedeckten Felsen. Auch jene Karren, welche an den Dolinengehängen vorkommen, sind postglacial. (Penck, Vom Dachsteinplateau. Ausland 1892, Nr. 42.) — Ablösungsflächen junger Bergabstürze zeigen Karren, wie die Platte auf dem nordöstlichen Gehänge des Watzmann-Nordeck. (Penck, »Das Land Berchtesgaden«. Zeitschr. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins 1885, p. 28.) In den seit Römerzeit verlassenen Steinbrüchen von hellem Kalkstein bei Aix sind viele Karrenfurchen in etwa 1800—1900 Jahren gebildet. (Heim, »Über die Karrenfelder«. Jhrb. d. Schw. A. V. 13. p. 421.) Ähnliche Karren hat Fugger (l. cit.) bei Fürstenbrunn unter dem Untersberg constatirt. Einzelne Felstrümmer der Slavini di San Marco bei Roveredo zeigen Karren, welche nicht älter als 1000 Jahre sein können. (Penck, Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch. 1886. p. 397.)

gesetzt. Im mährischen Devongebiete und in den nördlichen europäischen Kreidegebieten, welche aus bituminösen und mergeligen Kalksteinen bestehen, fehlen die Karren.¹⁾

2. Typische Karren sind auf steilere Böschungen beschränkt; daher kommen sie so oft auf den steilen Dolinengehängen vor. Je weniger steil eine Fläche ist, desto mehr verschwinden die typischen Karrenformen. Wenn die Oberfläche horizontal ist, treten die Karren selten auf und dann sind sie unregelmäßig aus tiefen Löchern und schmalen Furchen zusammengesetzt. Wir werden sehen, dass die Beschränkung der typischen Karren auf steile Böschungen einen Gegensatz zu den Dolinen bildet, welche auf solchen Formen nur ausnahmsweise auftreten.

3. Wenn beide vorerwähnten Bedingungen vorhanden sind, so finden sich die Karren doch meist nur da, wo keine Vegetation und kein Zersetzungslehm oder eine Schutthalde die Felsen schützt und eine andauernde Benetzung derselben mit Wasser stattfindet, was auch Heim hervorhebt.

Die Verhältnisse, unter welchen die Karren auftreten, lassen keinen Zweifel darüber, dass dieselben lediglich durch die chemische Erosion entstanden sind, welche das über dem reinen Kalksteine abfließende Wasser auf denselben ausübt. Fraglich kann nur der Ursprung des Wassers sein, ob dasselbe ausschließlich aus der Atmosphäre stammt oder ob die ständige Umspülung der Karstküste mit den Wogen des Meeres gleichfalls zur Karrenbildung führt. Hiefür spricht zwar das nicht seltene Auftreten von Karren an der Küste, aber es muss im Auge behalten werden, dass keineswegs überall Karren an der Karstküste vorkommen. Ich fand keine Karren an der ganzen Küste der Quarnero von Rabac bis Porto Ré, ferner nicht bei Ragusa und bei Cattaro, so dass wohl die Frage entsteht, ob nicht vielleicht die auf nacktem Strande befindlichen Karren, gleich den im höheren Niveau auftretenden, durch atmosphärisches Wasser ausgetieft wurden. Nach Boblaye kommen zahlreiche Karren an der Karstküste des Peloponnes auch in 7—8 m Höhe über der Wogengrenze.²⁾ Jedenfalls erscheint es mir nicht zulässig, die immerhin noch fragliche Entstehung der Karren durch die Brandung zu verallgemeinern, so wie es Stache thut, welcher das Auftreten der Karren im adriatischen Karste auf frühere Meeresbedeckung, und zwar auf die Thätigkeit der Brandung zurückführt.³⁾

Mag auch immerhin möglich sein, dass manche littorale Karren⁴⁾

¹⁾ Wie die Karrenbildung von der Beschaffenheit des Kalksteins abhängig ist, zeigt dieses Beispiel von Fugger (Op. cit. p. 181 u. 182): Im Kreidekalke im Veitlbruch zogen sich die Rinnen in der Richtung der zu 40° geneigten Fläche hin; dort aber, wo eine Rinne auf einen Knollen dichteren Kalkes traf, umzog sie denselben im Halbkreis, um dann wieder die ursprüngliche Richtung fortzusetzen. — Diener hat zu beweisen versucht (Libanon, p. 228), dass die Bildung von Karrenfeldern durch reine, gut geschichtete Kalksteine, jene von Dolinen dagegen durch ein dichtes, minder deutlich geschichtetes Material begünstigt wird. Es liegen mir keine Beobachtungen vor, welche eine Beschränkung dieser zwei Arten von Karstphänomenen auf Riff- oder geschichtete Facies des Kalksteines zulassen würden. Im ganzen adriatischen Karste sind Karren und Dolinen in demselben Kalksteine. Die Dolinen des Untersberges sind zwar in eine durchaus inhomogene Schichtmasse eingesackt, in demselben Kalke aber kommen zahlreiche, oft mit Dolinen vergesellschaftete Karren vor. ²⁾ Boblaye, Op. cit. p. 156. ³⁾ Stache, »Die liburnische Stufe.« Abhandlung der geol. R.-A. 1889. B. XIII. Heft 1. p. 14. ⁴⁾ Es wäre interessant, festzustellen, ob diese Strandkarren wirklich den echten Karren gleichen, oder ob sie vielleicht den eingangs erwähnten rundlichen karrenähnlichen Furchen entsprechen, die Simony mit Recht als fluviatile Gebilde hinstellt. Da ich überhaupt keine Strandkarren zu sehen bekam, konnte ich diese Frage nicht entscheiden.

durch die Brandung entstanden sind, so gilt dies gewiss nicht von der bei weitem überwiegenden Menge der bis in namhafte Höhen vorkommenden Karren. Für diese kommt ausschließlich das atmosphärische Wasser in Betracht, und ich vermag für die Karrenbildung in den Karstländern keine andere Erklärung anzustellen, als die von Heim näher begründete¹⁾, zumal, da die Erscheinung der Karstkarren und der alpinen Vorkommnisse vollkommen übereinstimmt.

II. Capitel: Die Dolinen.

A. Definition und Name.

Die Doline ist eine Wanne von kleinem, rundlichem Umfang und nicht allzu bedeutender Tiefe, welche im Kalksteine eingesenkt ist; ihr Durchmesser variiert meist innerhalb der Grenzen von 10—1000 Meter, ihre Tiefe bewegt sich zwischen 2—100. Manche dieser Gebilde führen zu Höhlen, weit verzweigten Höhlengängen und unterirdischen Flussläufen, die Mehrzahl derselben aber stellt oberflächliche Gebilde dar, welche ihre Fortsetzung nach unten in Fugen und Spalten finden. Wir fassen also unter dem Namen Doline alle kleineren trichterförmigen Einsenkungen zusammen, welche den Karstgebieten ihren eigenthümlichen landschaftlichen Charakter verleihen. Neben den Dolinen kommen in den Karstgebieten grosse Wannen vor, welche in der Hercegovina Poljen genannt werden.

Indem wir den Begriff Doline ausschließlich auf trichterförmige Vertiefungen im Kalksteine und dessen Schuttbedeckung beschränken, ermöglichen wir dieselben von anderen ähnlich aussehenden, genetisch aber verschiedenen Gebilden zu trennen. Die Riesentöpfe, die kleinen Löcher und Aushohlungen, welche in den verschiedensten Gesteinen auftreten, die brunnenförmigen Vertiefungen im Gyps und Löss, die schüsselförmigen Einsenkungen im Flussalluvium und verschiedene Evorsionsformen in Gletschergebieten, sind von Dolinen streng zu unterscheiden.

Durch eine große Anzahl von Ausdrücken, welche meist Synonima sind, werden in verschiedenen Karstlandschaften die kleinen schüssel- und trichterförmigen Vertiefungen bezeichnet. In Süd-Frankreich und im französischen Jura nennt man sie entonnoir, bétoir, anselmoir, embue,²⁾ cloup³⁾ etc. Die englische Sprache besitzt dafür die Namen swallow hole, sink hole⁴⁾ und cockpit.⁵⁾ Die deutsche Zunge hat für Dolinen nur einen Volksnamen Hühle,⁶⁾ welcher im Frankenjura üblich ist; in der Literatur werden meist die Bezeichnungen Trichter, Karstrichter, Einsturztrichter, Säugloch u. s. w. gebraucht. Im Italienischen werden die Dolinen Buso genannt⁷⁾ In der tschechischen Sprache

¹⁾ Heim, l. cit. ²⁾ M. J. Fournet, »Hydrographie souterraine.« Mém. de l'Académie de Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon VIII, 221—296; pag. 13 (Sep.-Abdruck). ³⁾ Martel, »Sous terre IV-ième campagne.« Annuaire du Club Alp. Fr. 1891, p. 212. ⁴⁾ Words, »Geol. Observations in South Australia.« London 1862, p. 63. ⁵⁾ Sawkins, »Geol. of Jamaica.« p. 242. ⁶⁾ Gümbel, »Geo gn. Beschreibung der fränkischen Alb.« (Frankenjura) 1891, p. 47; Endriss (Blätter des schwäbischen Albvereins 1892, N 10, p. 189) nennt sie Erdtrichter. ⁷⁾ Schmidl, Op. cit. p. 194 Foglio 48 und 36 der italienischen Specialkarte 1 25000).

(im mährischen Devongebiete) heißen die Dolinen *Zavrtky*.¹⁾ Großen Reichthum an Namen für Dolinen besitzen die südslavischen Sprachen, insbesondere die Serbokroatische. In Serbien heißen die Dolinen *vrtača* (von *vrteni* = bohren) und *ponikva* (Saugloch), in Dalmatien *vrtilina*, in Montenegro *D o (Dol)*, in Istrien *D o l a c*, in Südwestkroatien *D u l i b a*. Der Name *D o l i n a* kommt als Bezeichnung für die kleinen Einsenkungen nur in einigen Gegenden von Krain vor, wo keine normalen Thäler vorhanden sind (insbesondere im Gebiete zwischen Laibach und Planina); sonst wird mit diesem Namen in den südslavischen Sprachen das Thal, besonders das Flussthal bezeichnet.

Der Name *Doline* (wörtlich Thal) ist also für die abgeschlossenen kleinen Vertiefungen nur beschränkt im Gebrauche. In der Literatur, welche das Karstphänomen behandelt, hat sich derselbe aber vollständig eingebürgert und ist mit seinem Gebrauche keine Mehrdeutigkeit verbunden, wesshalb derselbe auch hier beibehalten wird.

Die zu Höhlen führenden, schlotförmigen Dolinen werden in den südslavischen Sprachen *B e s d n o* und *S t r o m o r* (ohne Grund), *Z w e k a r a* (klingende Doline), *J a m a* (Grube) und *L u k n j a* (Krain) genannt. Für dieselben sind in der tschechischen Sprache die Ausdrücke *Propast* und *Propadany* üblich.²⁾ Die französische Sprache besitzt für sie eine Menge von Namen, wie *A v e n* und *I g u e*,³⁾ *A b î m e*, *G o u f r e*, *G o u l e*,⁴⁾ die englische Namen: *L i g h t h o l e*, *n a t i v e w e l l*, *s i n k*⁵⁾ u. s. w. Mit dem französischen Ausdrücke *A v e n* und dem englischen *L i g h t h o l e* sind zwei morphologisch verschiedene Arten von schlotförmigen Dolinen am passendsten bezeichnet; wir werden sie in dieser Arbeit als Bezeichnungen für bestimmte Formengruppen einführen.

B. Die Formenverhältnisse.

1. Die normalen Verhältnisse.

Am meisten verbreitet in jedem Karstgebiete sind kleine schüssel- und trichterförmige Dolinen von kreisrundem oder elliptischem Umfange, einer Tiefe von 2—20 *m*, im Mittel 7—8 *m* und einem Durchmesser von 10—120 *m*, im Mittel 50 *m*. Die angegebenen Zahlen sind Mittel aus 300 Messungen, welche ich an den kleinen Dolinen in Ost-Serbien und im adriatischen Karste, und zwar in Krain, Istrien, Montenegro und in der Hercegovina ausgeführt habe.

Diese typischen Dolinen treten theils vereinzelt, theils aber so dicht neben einander auf, dass man auf einem Quadratkilometer oft 40—50 derselben zählen kann;⁶⁾ sie verleihen jeder Karstlandschaft ihr charakteristisches Gepräge und spielen in derselben eine ähnliche Rolle wie die kleinen Erosionsformen in einem undurchlässigen Terrain. Unser Kärtchen, Seite 44, stellt eine derartige Dolinenlandschaft dar.

¹⁾ M. Kříž, »Die Höhlen in den mährischen Devonkalken u. ihre Vorzeit.« I. Die Slouperhöhlen. Jahrb. d. geol. R.-A. 1891, XLI, p. 443. ²⁾ Kříž, Jhrb. d. geol. R.-A. XXXIII, 1883, p. 266. ³⁾ Martel, »Annuaire du Cl. A. F.« 1889, p. 101; Annuaire 1890, p. 267. ⁴⁾ Fournet, Op. cit. p. 13 (Sep.-Abdruck). ⁵⁾ Sawkins, »Geol. of Jamaica.« p. 243. ⁶⁾ Nach Zählungen, welche ich bei Ravnik (Unterloitsch) in Krain, Gat in der Hercegovina und Bročanac in Montenegro vorgenommen habe. Der Originalaufnahme der Spezialkarte 1:25000 entnahm ich, dass im Fiumaner Karste, östlich von Castua 40 Dolinen auf 1 *km*² kommen.

Bei den echten kleinen Dolinen sind drei durch Übergänge verbundene Hauptformen festzustellen:

1. Schüsselförmige Dolinen, welche im Verhältnisse zu ihrem Durchmesser eine geringe Tiefe besitzen; wir wollen ihnen alle Dolinen zuzählen, bei welchen der Durchmesser etwa zehnmal größer ist als die Tiefe ($D = 10 h$). Der Böschungswinkel der Dolinengehänge bewegt sich innerhalb der Grenzen von $10-12^\circ$.

Nimmt die Tiefe im Verhältnisse zum Durchmesser zu, haben wir die zweite Hauptform.

2. Die trichterförmige Doline. In dieser Gruppe werden wir alle diejenigen zusammenfassen, deren Durchmesser ungefähr der doppelten oder dreifachen Tiefe gleichkommt ($D = 2h$, $D = 3h$). Die Böschung der Gehänge erreicht $30-45^\circ$. Während die schüsselförmigen Dolinen einen verhältnismäßig breiten Boden besitzen, wird derselbe bei den trichterförmigen mit der zunehmenden Tiefe auf einen immer kleineren Raum reduciert. Was die Häufigkeit anbelangt, stehen die trichterförmigen hinter den schüsselförmigen Dolinen zurück. Ich fand durch Messungen in Montenegro und in der Hercegovina das Verhältnis beider von 1 4, in Krain 1 6, in Istrien sogar 1 10.

3. Die dritte Form sind brunnenförmige Dolinen. Es sind dies Löcher mit steilen, gelegentlich mit fast senkrechten Wandungen, welche entweder jäh und unvermittelt oder am Boden der Dolinen auftreten. Im letzten Falle haben wir gewissermaßen mit einer Übergangsform zwischen Trichter und Brunnendoline zu thun. Der Durchmesser der brunnenförmigen Dolinen ist in der Regel kleiner als ihre Tiefe ($D < h$). Diejenigen in der Umgebung von Unterloitsch (Ravnik) in Krain besitzen eine Tiefe von $15-20 m$, einen Durchmesser von $2-5 m$. Im Vergleich mit schüssel- und trichterförmigen Dolinen kommt dieser Typus äußerst selten vor; auf einer Fläche von $4-5 km^2$ in der Umgebung von Unterloitsch in Krain konnte ich nur sechs brunnenförmige Dolinen wahrnehmen.

Unter den brunnenförmigen Dolinen kommen auch solche Formen vor, welche sich nicht senkrecht in die Tiefe erstrecken. Die Doline Prčidol bei Repentabor (Triestiner Karst) stellt eine geneigte brunnenförmige Doline dar, mit einem Durchmesser von circa $20 m$ und einer Tiefe von $15 m$. Eine Abweichung von der typischen Form zeigt die Doline Hrib bei Basovica; sie besteht aus einem senkrechten Brunnen, welcher sich in geringer Tiefe in zwei geneigte kurze theilt.¹⁾ Die geneigten Dolinen dieser Gruppe gehören zu den Formen der Landoberfläche, welche, ähnlich wie die Höhlen, nicht in eindeutiger Weise auf das Meeresniveau projicierbar sind.²⁾ Es entwickelt sich also eine Beziehung zwischen diesen Brunnendolinen und den Höhlen. Noch engere Beziehungen zu den Höhlen zeigen die dolinenähnlichen Gebilde der folgenden Gruppen, welche eigentlich verticale Höhlen genannt werden sollten. Ich theile in Folgendem die Maße einiger brunnenförmiger Dolinen im Krainer und Triestiner Karste mit:

¹⁾ Grottenbuch der Section Küstenland. Bd. I. ²⁾ Penck, »Die Formen der Erdoberfläche.« Verh. d. IX. deutschen Geographentages in Wien, p. 29.

Tabelle I.
Maße brunnenförmiger Dolinen.

	N a m e	Durchmesser	Tiefe
Triestin. Karst ¹⁾	Die Doline Prčidol bei Repentabor	20 m	15 m
	Die Krapna Vrh bei Repentabor.	15 m	25 m
	Die Doline »Na Krasi« bei Leseče.	—	23 m
	Die Doline bei Nabresina	—	28 m
Krainer Karst	Die Doline bei Garčarevec	2.5 m	20 m
	Die Kališnica.	10 m	70 m
	Die Smrečnica (Fichtendoline).	—	60 m
	Die Ribja Jama (Fischdoline)	—	58 m
	Die Doline im Faci'schen Durchschlage ²⁾	—	68 m
	Die Jelenova Jama (Hirschdoline).	—	13 m
	Die Jurjeva Ograda ³⁾ .	—	8 m
	Die Doline Strmec bei Klein-Ratschna ⁴⁾	—	83 m
	Die Doline Kališe ⁵⁾ .	5—6 m	18 m
	Die Dirupo di Smergo auf Cherso ⁶⁾ .	ca. 50 (?) m	70 m
	Die Gruspa bei Bazata auf Kephallonia ⁷⁾	8 m	15 m

Die brunnenförmigen Dolinen kommen in jedem Karstgebiete, jedoch meist selten vor. Auf dem Dachsteinplateau habe ich einige in der Umgebung des Taubenkars und der Ochsenwieshöhe beobachtet. Dieselben haben bei einer Tiefe von 2—4 m einen Durchmesser von ca. 1 m; auch hier sind Dolinen von dieser Form sehr selten. Sie befinden sich alle in der Nähe großer Schneeflecken, dienen als Ponore für das Schmelzwasser und sind oft selbst mit Schnee erfüllt. Eine große brunnenförmige Doline von rundlichem Querschnitte ist das Thiergartenloch auf dem Dachsteinplateau. Seine Südostwände sind überhängend; die von zwei sich durchkreuzenden Verwerfungen durchsetzte Nordwestwand dagegen senkrecht und durch Ablösungsflächen charakterisiert, von welchen große Trümmer abrutschten und den Boden bedecken.

Das Land zwischen den Dolinen.

Die Gebiete, in welchen schüssel- und trichterförmige Dolinen in großer Anzahl auftreten, stellen im Triestiner Karste kahle Steinwüsten dar, welche durch ein zerrissenes Gelände und unregelmäßige Plastik charakterisiert sind. Die Dolinen sind die einzigen Gebilde, welche die Monotonie der Karstwüste unterbrechen und bewirken, dass Hoch und Niedrig zum Ausdruck kommt. Neben den typischen kleinen Dolinen erscheinen hier häufig auch größere, welche einen Durchmesser von 80—100 m und eine mittlere Tiefe von 10—15 m haben; an den unterirdischen Lauf der Reka sind einige steilwandige tiefe Schlote gebunden. Die Erhebungen zwischen den Dolinen sind von stark zerklüfteten, oft scharfkantigen Felsen eingenommen, welche Anfänge der Karrenbildung und kleine, verticale Löcher aufweisen.⁸⁾ Der Karst

¹⁾ Grottenbuch der Section Küstenland in Triest, I und II. ²⁾ Putick, Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch. 1887, p. 561; dieselbe Zeitschrift, 1890, p. 483 ³⁾ Schmidl, »Grotten und Höhlen von Adelsberg, Laas und Planina«, p. 158. ⁴⁾ Hrasky, Mitth. d. Section für Naturkunde. 1889, p. 77. ⁵⁾ Schmidl, »Op. cit.«, p. 159. ⁶⁾ Lorenz, »Jhrb. d. geol. R.-A.« 1859, p. 342. ⁷⁾ Partsch, »Kephallonia und Ithaka« Ergänzungsheft Nr. 98 zu »Petermann's Mitth.« 1890, p. 19. ⁸⁾ »Man bemerkt oft auf dem Karste eine Unzahl von kleinen Vertiefungen und Höckern, so dass endlich das ganze nicht besser als mit einem sehr unregelmäßigen Netze verglichen werden kann, welchem die härteren Theile das Garn und die ausgehöhlten, durch Regen- und Schneewasser herausgefressenen Theile die Maschen vorstellen würden.« A. Boué, »Über die Karst- und Trichterplastik im allgemeinen. Bd. XLIII. Sitzber. d. k. Akademie d. Wissensch., p. 9.

vom nordwestlichen Montenegro und von der Hercegovina zeigt dieselben Verhältnisse, nur in größerem Maßstabe; selbst die Gehänge der Dolinen sind oft durch ausgeprägte Karrenbildungen ausgezeichnet. Es kommen in diesem Karstgebiete auch sehr große Dolinen vor, welche einen Übergang zu den Poljen bilden. — Nicht überall ist das Land zwischen den Dolinen nackt und zerfressen; oft ragen an der Oberfläche nur einzelne stumpfe Felsen hervor, welche in ihrer Anordnung den Schichtköpfen entsprechen; zwischen denselben haben sich kleine Mengen von terra rossa angesammelt, welche ein spärliches Gedeihen von Gras und Buschwerk ermöglichen, wie z. B. in der Umgebung von Gackopolje in der Hercegovina und von Broćanačko Polje in Montenegro.

Denselben, milderen Charakter, zeigt auch der größere Theil des Krainer Karstes; überdies treten in demselben zwischen typischen Dolinen, auch steilwandige, schlotförmige auf, welche an das unterirdische Stromsystem der Laibach gebunden sind. — Es kommen in jedem Karstgelände bewaldete, ebenso stark von Dolinen besetzte Karstflächen vor, welche doch landschaftlich keinen so öden Eindruck machen, wie z. B. die Umgebung von Unterloitsch (Ravnik) in Krain, von Lič und Fužine in Kroatien u. a. Kahlheit des Landes und Karstphänomenen sind also keineswegs miteinander verbunden, und unrichtig ist es, ein kahles Land als verkarstet zu bezeichnen.

Das Karstgelände der südirischen Karstplatte zeigt keine so großen Höhenunterschiede, wie die vorerwähnten; die Dolinen besitzen geringere und gleichmäßigere Tiefen. Auch die Größe der Dolinen weist keine großen Abweichungen auf; so dass bei weitem die überwiegende Zahl derselben jenen Dimensionen entspricht, welche wir als normale aufgestellt haben. Solche typische Dolinen kommen in so großer Häufigkeit vor, dass einzelne Partien der südirischen Platte wirklich blattersteppig erscheinen. Es kommen außerdem noch flache, kaum bemerkbare Wannen vor, welche bei einer sehr geringen Tiefe verhältnismäßig großen Durchmesser haben. Die schlotförmigen Dolinen sind äußerst selten oder fehlen vollständig. Weder die Dolinen noch die kleinen Erhebungen zwischen ihnen zeigen den zerklüfteten Kalksteinboden: in der Regel ist die Landoberfläche mit einer 0,1—1 m mächtigen Schicht von terra rossa bedeckt. Solche schwach undulierte Partien der südirischen Platte sind von Getreidefeldern, Weinbergen, Grasflächen oder auch vom Gesträuch eingenommen, so dass man hier keine Vorstellung von der Oede und Wildheit des übrigen adriatischen Karstes bekommt.

Das mährische Devongebiet zeigt mehrfach ähnliche Verhältnisse wie die südirische Karstplatte. Keine steinige Oberfläche, die Erhebungen, sowie auch der Boden der Dolinen mit einer Decke von Zersetzungslern bedeckt, alles bebaut oder auch dicht bewaldet. Die flachen Wannen kommen auch hier vor, die Schlotte sind an die unterirdischen Flussläufe des Punksystems (Macoča) gebunden. Die Dolinen sind selten und zeigen meist Schüsselform; es unterscheidet sich dadurch das mährische Gebiet auffallend von dem adriatischen Karste.

Die Plateauoberflächen der nördlichen und südlichen Kalkalpen sind auch durch Karstphänomenen ausgezeichnet. Dolinen treten auf ihnen meist stellenweise, aber in so großer Häufigkeit wie im echten Karste auf, sind jedoch mit tiefen Karren combinirt. Auch die flachen Depressionen zwischen den einzelnen Klotzbergen, welche aus dem Plateau

hervorragend, sind reich an Dolinen, und »die Oberfläche alles Gesteines ist rau und ausgefressen, als wären einst Säuren darauf herabgeregnet«. ¹⁾

2. Abweichungen von den normalen Größen und Formverhältnissen.

Es kommen im Karstgelände schüssel- und trichterförmige Dolinen vor, welche durch ihre horizontalen Dimensionen von den typischen abweichen. Es treten dabei mehrere Arten solcher Abweichungen deutlich hervor.

Erstens finden sich schüsselförmige Dolinen mit sehr kleinem Durchmesser, welche manchmal kaum bemerkbar sind. Ich habe solche im Karstgebiete von Ost-Serbien beobachtet, wo sie stellenweise in größerer Zahl auftreten. Im mährischen Karstgebiete, nördlich von der Macocha, beobachtete ich drei Dolinen, welche bei einem Durchmesser von ungefähr 3—4 m, 0·5 m Tiefe besitzen.²⁾ Ihr Rand ist so schwach ausgeprägt, dass es unmöglich erscheint ihren Durchmesser genau zu fixieren. Oft trifft man auch trichterförmige Dolinen mit kleinem Durchmesser. Im Triestiner und Istrianer Karste messen dieselben 3—10 Meter Durchmesser und 1—3 Meter Tiefe. In großer Anzahl liegen solche Dolinen auf einer flachen Barrière, welche das Njeguško Polje von Dugi Do (Lange Doline) in Montenegro trennt; dieselben zeigen bei gleichem Durchmesser etwas größere Tiefe.

Ferner gibt es große schüsselförmige Dolinen, welche stellenweise unter den normalen Dolinen auftreten. Ihre Tiefe ist so gering, dass wir dieselben mit einer Handfläche vergleichen können. Wie erwähnt, treten solche große und seichte Dolinen in Istrien und Mähren auf; im mährischen Karstgebiete besitzt eine solche bei einem Umfange von 720 m eine Tiefe von 7 m.

Es gibt auch trichterförmige Dolinen mit großem Durchmesser, welche entweder einen runden oder ovalen Umfang haben. Die tiefsten von ihnen werden in der Zeit der Schneeschmelze oder während der Regenzeit überschwemmt und bilden periodische Seen. Die Dolinen dieser Gruppe wurden bisher nur im Adriatischen und Krainer Gebirgskarste angetroffen. Zu den runden gehört die große Doppeldoline oberhalb Buccari, namens Ponikve, welche aus zwei Dolinen besteht, von welchen die nördliche 800 m Durchmesser misst und einen ebenen Thalboden besitzt, die südliche besitzt einen Durchmesser von 700 m; sie ist mitunter Überschwemmungen ausgesetzt. Wir geben S. 44 einen Grundriss dieser Doline und stellen denselben den kleineren Dolinen gegenüber. Bei den ovalen ist das Verhältnis der Längs zu der Queraxe 2:1. Die Längsaxe ist oft im Schichtstreichen gelegen. Als Resultat einer Vermessung von fünfzehn solcher Dolinen ergab sich ein mittlerer Durchmesser von 250 m, mit einem Maximum von 600 und einem Minimum von 100 m, eine mittlere Tiefe von 30 m, mit einem Maximum von 80 und einem Minimum von 10 m. Solche Dolinen führen außer dem Namen Do auch den Namen Uvala und in denselben liegt die Mehrzahl der Ansiedlungen im westlichen Montenegro.³⁾

Die also in jedem Karstgebiete auftretenden schüssel- und trichterförmigen Dolinen mit sehr kleinem Durchmesser treten gegenüber

¹⁾ Simon y, »Über die Spuren der vorgeschichtlichen Eiszeit im Salzkammergute«. Bericht über die Mittheil. von Freunden der Naturwiss. in Wien 1847, I, p. 217.

²⁾ Trampler, »Die Macocha«. Wien 1891. XXXVI. Jahresbericht der Wiedener Oberrealschule, p. 15. ³⁾ De la Noë et de Margerie (Le formes du terrain Paris 1888, p. 156—160) erwähnen eine große Doline im Jura, nördlich von Besançon, welche 2 km lang, 400—500 m breit und 20—25 m tief ist.

den typischen mit einem Durchmesser von 50 *m* und einer Tiefe von 7—8 *m* sehr zurück. Ebenso vereinzelt wie die vorerwähnten treten große Dolinen von zweifacher Art vor: im istrischen und mährischen Karstgebiete sind sie durch rundliche seichte Wannen, im adriatischen Karste durch tiefe, manchmal rundliche, meist aber ovale Wannen vertreten, deren Längsaxe dem Schichtstreichen folgt. Die tiefen rundlichen und ovalen Dolinen nähern sich durch ihre großen Dimensionen den Poljen der Karstgebiete; überdies zeigen sie auch ähnliche hydrographische Verhältnisse. Die verschiedenartigen Wannen im Karstgelände sind also durch Übergänge eng verknüpft.

In jedem Karstgebiete treten ferner verschiedenartige Abweichungen von der normalen schüssel- und trichterförmigen Dolinenform auf.

Oft reichen keilförmige Vorsprünge von der Peripherie der Doline gegen den tiefsten Punkt hinab, so dass dieselbe eine sternförmige Gestalt erhält; durch diese Vorsprünge werden manche Dolinen so zerfrant, dass man sie auf keine bestimmte Gestalt zurückführen kann. In kahlen, steinigten Karstlandschaften kommen diese unregelmäßigen Formen häufig vor, so z. B. in Umgebung von Gacko Polje in der Hercegovina; ähnliche, außerdem durch Karrenbildungen ausgezeichnete Formen habe ich bei der Ochsenwiesalm auf dem Dachsteinplateau beobachtet. Wenig verbreitet sind Dolinen vom nierenförmigen Umriss; einige solche sah ich zwischen Mataun und Corgnale im Triestiner Karste.

Im Gebirgskarste des adriatischen Küstenlandes sind oft unregelmäßige Dolinen vertreten, welche sich auf keine bestimmte Gestalt zurückführen lassen. Meist sind sie länger als breit, stellenweise sind sie enge, um sich bald stark zu erweitern; durch scharfe in ihre Gehänge einspringende Winkel, welche als seitliche Erweiterungen der Dolinen erscheinen, geht auch ihre längliche Form verloren und nähert sich der sternähnlichen. Einzelne solche Dolinen lassen sich auf zwei Dolinen zurückführen, welche durch einen engen Kanal verbunden sind; zu solchen gehört die Doline bei Simunja in Montenegro.

Lange, schmale, oft geradlinig verlaufende Dolinen, welche im Karste von Montenegro, der Hercegovina und Westbosnien auftreten, nähern sich den blinden Thälern. Einige derselben haben eine Länge von 100—1000 *m*, bei einer Breite von 10—50 *m*; Der Dugi Do (Lange Doline) zwischen Kčevo und Ubli im montenegrinischen Karste zeigt eine Länge von circa 800 *m*, bei einer Breite von 10—20 *m*; der Boden dieser langen Doline besteht aus terra rossa und wird bebaut. Die Doline Drleč, im Dorfe Podstolup in Montenegro besteht aus zwei solchen schräg zu einander gestellten trogförmigen Dolinen.

Im adriatischen Karste treten ferner 1—4 *km* lange, schmale, thalähnliche Wannen auf, von denen man im Zweifel sein kann, ob sie nicht bereits zu den blinden Thälern zu rechnen sind. Diese Dolinenthäler verlaufen meist geradlinig im Schichtstreifen; in ihrem Boden sind in der Regel linear angeordnete schüssel- und trichterförmige Dolinen eingebettet. Eine solche Form zeigen die Dolovska Korita (Dolinenträge) in Montenegro, welche bei ungefähr 2 *km* Länge eine Breite von 40—50 *m* haben; kein Gerölle, überhaupt keine Anzeichen der Flusserosion sind in denselben vorhanden. Die Uvala im Quellgebiete der Una in Bosnien stellt auch eine solche, über 3 *km* lange Doline dar.

Combinirte Dolinenformen.

Wenn der Wall zwischen zwei Dolinen verschwindet, so verschmelzen dieselben und es entsteht eine Zwillingsdoline; jede der beiden behält ihre Gestalt, beide werden gemeinsam von einer elliptischen Grenze umschlossen. Im Triestiner Karste, insbesondere in der Umgebung von St. Kanzian sind solche Dolinen beobachtet.¹⁾ Eine interessante Eigenthümlichkeit mancher großer Dolinen ist die, dass denselben zwei kleine eingelagert sind. Eine solche Doppeldoline befindet sich nordöstlich von der Südbahnstation Buccari, eine zweite von dieser Form ist die große Doline Sokoljak bei St. Kanzian u. s. w. Es kommt auch nicht selten vor, dass sich am Boden einer großen Doline mehrere kleine befinden. Die großen Dolinen von Igriste, Torovište, Kurmature u. a. in Ost-Serbien enthalten viele kleine schüssel- und trichterförmige Dolinen.

3. Böschung der Dolinengehänge.

Der Böschungswinkel, den wir der obigen Eintheilung der Dolinen zu Grunde legten, ist nicht in allen Fällen auf allen Seiten der Dolinen derselbe.

In manchem Karstgebiete wird regelmäßig eine Seite der Dolinen von der Schichtfläche gebildet, während die andere, steilere, Schichtköpfe darstellt; stellenweise treten die Schichtköpfe stufenförmig über einander auf, so dass das betreffende Gehänge terrassiert erscheint. Es ist selbstverständlich, dass eine solche Ungleichmäßigkeit der Böschungswinkel nur in dislocierten Gegenden auftreten kann. In der Umgegend von Cetinje, sowie auch zwischen Njeguš und Cetinje in Montenegro fallen die Schichten gegen W und SW, so dass die nördlichen und nordöstlichen Gehänge der Dolinen die Schichtflächen bieten, also einen sanften Böschungswinkel besitzen, während im nordöstlichen Karstgebiete von Montenegro, zwischen Cetinje und Nikšić, die West- und Südseiten die steileren sind, weil die Schichten gegen O und NO fallen. Dieselbe Erscheinung hat Toula²⁾ bei den Dolinen der Tschatyr-Dagh auf Krim beobachtet; eine solche Abhängigkeit der Böschungswinkel vom Schichtfallen sieht man an einigen Dolinen bei Unterloitsch in Krain. Assymetrische Dolinen und terrassierte Dolinengehänge hat auch Prof. Penck auf dem Steineren Meer beobachtet.

Die Dolinen von Šmarje im St. Kanzianer Karste, welche Reyer untersucht hat,¹⁾ sind an eine Verwerfung gebunden, welche zwischen SO und OSO streicht, also parallel dem Schichtstreichen des Karstgebirges verläuft. Am Nordabhange dieser Dolinen, welcher in der Regel steiler ist, fallen die Schichten 60—70° NO, am sanften Südgehänge liegen sie fast horizontal. Reyer schließt daraus, dass das Gehänge der Dolinen, welches mit dem abgesunkenen Flügel zusammenfällt, eine sanftere Böschung hat als die entgegengesetzte.

Die ungleichmäßige Neigung der Gehänge tritt besonders stark dann hervor, wenn sich die Dolinen

¹⁾ Reyer, »Studien über das Karstrelief.« Mitth. d. k. k. geogr. Gesellschaft. 1881, p. 11 (Separatabdruck). — Solche Zwillingsdolinen beobachtete Diener in den Berchtesgadener Alpen (Libanon. p. 230). ²⁾ Toula, »Eine Krimreise«. Deutsche Rundschau für Geographie u. Statistik. 1889. XI. Jahrgang, p. 337.

an der Grenze zwischen dem Kalksteine und einem impermeablen Gesteine befinden. Eine Reihe von großen schmalen abgeschlossenen Wannern durchsetzt das Kučaj-Gebirge Ost-Serbiens in der Richtung von O nach W. Ihre Südgehänge sind aus cretacischem Kalkstein, Nordgehänge aus einem grünen, oft quarzreichen Sandstein zusammengesetzt. Die am Boden dieser Wannern auftretenden Dolinen besitzen sanfte (5—12°) Nordgehänge, steile (circa 40°) Südgehänge. — Die Dugapässe in Montenegro zeigen Anlage zur Bildung eines Längstales, welches aber durch viele Querriegel unterbrochen ist. In den einzelnen abgeschlossenen Wannern, in welche die Dugapässe zertheilt sind, befinden sich linear angeordnete Dolinen, welche an der Grenze des Kalksteines und cretacischen Schiefer vorkommen. Ihre nordöstlichen Gehänge, aus Schiefem zusammengesetzt, sind sanft geböscht, die südwestlichen, im Kalkstein gelegenen, stellen steile oft von Karrenbildungen durchfurchte Wände dar.

Neben dieser durch Gesteinslagerung und Beschaffenheit bedingten Ungleichseitigkeit der Dolinenwandungen sieht man in nicht dislocierten oder schwach dislocierten Gesteinen eine nach einer bestimmten Himmelsgegend orientierte Ungleichheit der Seiten. Bereits Schmidl¹⁾ hat dies im Krainer Karste wahrgenommen. Auf dem Hochplateau des Libanon ist die Westseite der Dolinen in der Regel die steilere, dabei sind viele dieser Dolinen fast den ganzen Sommer hindurch mit Schnee erfüllt.²⁾ Dieselbe Beobachtung habe ich im Kučajgebirge Ostserbiens an den Dolinen von Igriste, Torovište u. s. w. gemacht; die schroffen Wände sind auch hier vorzugsweise an der West- und Nordwestseite der Dolinen, doch kommen auch Abweichungen von dieser Regel vor, insbesondere in gut geschichteten, stark dislocierten Partien, welche Abweichungen meist auf die tektonischen Verhältnisse zurückzuführen sind. In jedem Karstgebiete erhält sich der Schnee längere Zeit auf den Schattenseiten der Dolinen. Der Schnee schmilzt und das Wasser versickert unter dem besonnten Gehänge, welches dadurch unterminiert wird; es bildet sich ein steiles Gehänge im Nordwesten, oft mit einem Ponore versehen.

In dislocierten Gebieten ist die Böschung der Dolinengehänge meist entweder durch Schichtfallen oder durch Verwerfungen bedingt; in nicht dislocierten Gebieten sind steile Böschungen in der Regel auf Sonnenseiten beschränkt. Man sieht also, dass die tektonischen und klimatischen Verhältnisse die Ausgestaltung der Dolinen wesentlich beeinflussen.

Häufig finden sich an den Gehängen der Dolinen Karren, u. zw. bei asymmetrischen Dolinen namentlich auf der Sonnenseite. Die erwähnten asymmetrischen Dolinen im Dugapasse, im Kučajgebirge u. a. sind durch Karren ausgezeichnet.

4. Boden und Ausfüllung der Dolinen.

Der Boden der Dolinen ist entweder nackt oder aus Zersetzungslehm zusammengesetzt.

1. Selten treten in Karstgebieten Dolinen auf, welche des Zersetzungslehms vollständig entbehren. Diese nackten Dolinen zeigen eine zerklüftete felsige Unterlage, welche meist durch Absorptionsspalten,

¹⁾ Schmidl, »Grotten und Höhlen.« p. 192. ²⁾ Day, »Funnel Holes on Libanon.« Geol. Mag. 1891, p. 91.

manchmal auch durch einen oder etliche Schlundlöcher (Ponore) charakterisiert ist. Die Gebilde letzter Art sind bis 1 *m* Durchmesser große Löcher im festen Kalkstein, durch welche das atmosphärische Wasser in den Boden einfließt; sie stellen meist die tiefste Stelle des Dolinenbodens dar. Nackte Dolinen sind auf jene Karstgebiete beschränkt, welche aus reinem Kalksteine bestehen, und zwar namentlich auf den Gebirgskarst. Solche von Zersetzungslehm freie Dolinen habe ich im Kučaj-Gebirge Ost-Serbiens und in Montenegro beobachtet. In großer Häufigkeit kommen nackte Dolinen im Gebiete »Ljut« bei Gacko in der Hercegovina vor. Einer großen Anzahl der Dolinen des Kapellagebirges und des Sinjsko Bilu (Velebit) fehlt der Zersetzungslehm vollständig.¹⁾ Lipold hat nackte Dolinen in Unterkrain beobachtet.²⁾

2. Der Boden der Dolinen besteht in der Regel aus einem zähen, braunrothen, eisenhaltigen Lehm, sog. terra rossa, welche oft Bohnerze und verschiedene andere concretionäre Eisensteine führt.³⁾ Nie zeigen diese Lehme eine Schichtung oder eine wesentliche Abweichung in der Beschaffenheit der oberen und unteren Lagen; oft liegen in der ganzen Masse der terra rossa einzelne Kalkbrocken zerstreut, welche eine Umhüllung von rothem Lehm besitzen.

In der Regel zeigt die terra rossa in den Dolinen von Krain, Istrien und im adriatischen Karste eine Mächtigkeit von einigen Centimetern bis 1 *m*. Gelegentlich erreicht dieselbe eine Mächtigkeit von 3–4 *m*, wie z. B. in der Gegend zwischen Visinada und Pisino in Istrien.⁴⁾ In der großen Nabergoj-Doline bei Prosecco im Triestiner Karste wurde die terra rossa bis zu einer Tiefe von 4 *m* angefahren.⁵⁾ Große Mächtigkeit erreicht der rothe Lehm in Unter-Krain, wo oft alle Unebenheiten der Kalkoberfläche durch denselben ausgeglichen werden, so dass die Oberflächenform der Doline verschwindet.⁶⁾

Die terra rossa ist ein Zersetzungsproduct, welches bei der Auflösung und Verwitterung des Kalksteines als unlösbarer Bestandtheil desselben zurückbleibt. Diese von Zippe⁷⁾, Neumayr⁸⁾ und Th. Fuchs⁹⁾ über die Entstehung der terra rossa ausgesprochene Ansicht dürfte auf alle im Karste auftretende Thone und Lehme anwendbar sein. Im adriatischen Karste und in Krain haben an der Bildung der terra rossa, nach der Meinung von Stache, auch die Zersetzungsproducte anderer Bildungen mitgewirkt, wie z. B. die eisenreichen Thonablagerungen der ersten Erosionsperiode.¹⁰⁾

Die Bildung von terra rossa fängt in jedem Karstgebiete mit der Trockenlegung desselben an und wird bis in die Gegenwart fortgesetzt; sie ist also eine terrestrische Bildung, deren Alter in verschiedenen Karstgebieten verschieden ist, je nachdem dieselben früher oder später trockengelegt worden sind. Auch in einem und demselben Karstgebiete ist nicht die ganze Masse von terra rossa

¹⁾ Tietze, »Zur Geol. der Karsterscheinungen«. Jhrb. d. geol. R.-A. XXX 1880, p. 753. ²⁾ Lipold, Jhrb. d. geol. R.-A. 1858, p. 245. ³⁾ Die Eisensteine finden sich als Körner, Bohnen, Knollen und Geoden in Nestern ohne irgend eine wahrnehmbare Regelmäßigkeit in den Lehmen eingebacken. Die Anzahl dieser Art Eisenstücke ist bisweilen bedeutend, bisweilen aber sind die Erze nur sparsam in Entfernungen von ein bis mehreren Metern von einander anzutreffen. — Lipold, »Die Eisensteinführ. Dil.-Lehme in Unter-Krain«. Jhrb. d. geol. R.-A. 1858, p. 252. ⁴⁾ Morlot, »Über d. geol. Verh. von Istrien«. Haidinger's »Naturwiss. Abh.« 1848, 257. ⁵⁾ Moser, »Der Karst.« 1890. ⁶⁾ Lipold, Op. cit., p. 246. ⁷⁾ Schmidl, »Die Grotten und Höhlen von Adelsberg«. 1854. ⁸⁾ Verh. d. geol. R.-A. 1875, p. 50. ⁹⁾ Verh. d. geol. R.-A. 1875, p. 194. ¹⁰⁾ Stache, »Die liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte«. Abh. d. geol. R.-A. Bd. XIII. H. I. 1889, p. 71.

auf dasselbe Alter zurückzuführen; die Bildung von terra rossa hat z. B. im adriatischen Karstgebiete in der Neogenzeit begonnen und dauert noch heute fort.¹⁾

Die terra rossa ist oft umgelagert, so dass dieselbe nicht immer als ein Eluvialproduct²⁾ zu betrachten ist; insbesondere bei der den Boden der Dolinen zusammensetzenden terra rossa spielt die Nachschwemmung eine große Rolle.³⁾ Im Gebirgskarste, wo die steilen Terrainformen vorherrschen, wird der größte Theil von terra rossa, welche sonst den Boden zwischen den Dolinen bedeckt, in dieselben zusammengeschwemmt. Es ist bekannt, dass die Bewohner des Karstes vielfach und oft in großem Maßstabe an der Umlagerung der terra rossa thätig sind, indem sie viele Dolinen durch künstliche Ausfüllung mit terra rossa culturfähig machen.

Ebenso wie im adriatischen Karste besteht der Boden der Dolinen meist aus terra rossa in der westlichen Hälfte der Balkan-Halbinsel, in Klein-Asien und Süd-Frankreich. Auch der weiße Kalkstein der Insel Jamaika liefert als Zersetzungsproduct vorzugsweise einen rothen, eisenhaltigen Lehm, aus welchem oft der Boden der massenhaft auftretenden Dolinen besteht. Die terra rossa erreicht hier stellenweise eine eben solche Mächtigkeit, wie in Istrien. Ähnlich der südistrischen Karstplatte, welche in Folge von großer Ausbreitung von terra rossa den Namen Itria rossa führt, bedeckt auch hier der rothe Lehm große Flächen, so dass die Berge oft »Red Hills« genannt werden.⁴⁾

3. Der Boden der Dolinen ist nicht überall aus der typischen terra rossa zusammengesetzt. Der Lehm derselben ist oft weißlich, braun oder schwarz gefärbt, je nach der Beschaffenheit des Kalkes und nach der Menge der organischen Beimengungen. In einigen Gegenden Ost-Serbiens besteht der Boden der Dolinen aus einem gelben Zersetzungslehm, der manchmal durch organische Beimengungen schwärzlich gefärbt ist. — Selbst in Istrien, und zwar in der Umgebung von Pola, besteht der Boden der Dolinen manchmal aus einem Quarzsand, welcher Saldame genannt wird; er ist durch Verwitterung aus einem durch großen Kieselgehalt ausgezeichneten Kreideniveau hervorgegangen.⁵⁾ Auf Jamaika findet sich in den Dolinen stellenweise weißem Lehm.

4. Oft sind die Dolinen dermaßen mit Zersetzungsproducten erfüllt, dass die charakteristischen Dolinenformen kaum zum Vorschein kommen. Wie die Beobachtung von Lipold zeigt, kommen solche Dolinen auch im Krainer Karste vor. Die Dolinen im mährischen Devongebiete sind derart mit Zersetzungslehm erfüllt, dass sie an der Oberfläche als ganz seichte Wannen erscheinen. Oft aber trifft man dort trichterförmige Vertiefungen in der Kalkoberfläche, welche gänzlich mit Zersetzungsproducten der jüngeren Formationen (Jura, Kreide) erfüllt sind. Durch den Abbau von feuerfesten Thonen, welche in den Dolinen enthalten sind, werden dieselben bloßgelegt.⁶⁾ Im Schwabenjura sind Dolinen

¹⁾ v. Mojsisovics, »Grundlinien der Geol. von Bosnien-Hercegowina«, p. 210.

²⁾ Im Sinne von Trautschold (»Über Eluvium«, Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesellsch. 1879, p. 583.) ³⁾ In den Becken von Gottschee und Möttling in Krain sind tertiäre Mergel und Thone von einer Schicht rother, in Tschernebl eisenerzführender Lehme überdeckt, welche wohl von den benachbarten Höhen zusammengeschwemmt sind; (Stache, »Die neog. Tertiärbild. in Unter-Krain«, Jhrb. d. geol. R.-A. 1858, p. 395). dasselbe wurde bei Neudegg und St. Ruprecht constatirt. (Lipold, Op. cit., p. 249.) ⁴⁾ Sawkins, »Geology of Jamaica«, p. 22. ⁵⁾ Kner, »Kleine Beiträge z. geol. Verh. Istriens«, Jhrb. d. geol. R.-A. IV. 1853, p. 224. — Diener, »Libanon«, p. 221.

⁶⁾ Makowsky, »Die geol. Verh. der Umgebung von Brünn«, p. 48.

nahezu vollständig mit Porzellanerde erfüllt.¹⁾ Die Gebilde dieser Art vermitteln den Übergang zwischen offenen Dolinen und den gänzlich mit Lehm oder anderen Gebilden erfüllten Verwitterungssäcken und geologischen Orgeln, welche die Kalkoberfläche unter dem Verwitterungslehm zeigt.

5. Selten wird am Boden der Dolinen fremdes Material angetroffen, welches mit den vorerwähnten Lösungsrückständen nichts zu thun hat. In der Nähe des Ochsenkogels, dann zwischen demselben und der Zunge des Karlseisfeldes auf dem Dachsteinplateau findet sich am Boden der Dolinen Moränenschutt. Beobachtungen ähnlicher Art sind auch in den dolinenähnlichen brunnenförmigen Vertiefungen im Karstgebiete Nord-Amerika's gemacht. Im Staate Jowa in Nord-Amerika fand Hall im Devonkalke Dolinen, an deren Boden Kohlenschichten, mit Kohlenflötzen und Lehm, vorkommen, welche theilweise die Vertiefung der Kalkoberfläche ausfüllen.²⁾ Ganz ausgefüllt sind die Vertiefungen in der Oberfläche des cretacischen Kalkes (Shakopee Limestone) bei St. Bend und Mankato in den Blue hills mit eingesunkenen cretacischen Mergeln und Drift.³⁾

Die Bekleidung des Bodens der Dolinen durch die Zersetzungslehme und fremde Producte ist von großer Bedeutung für die Karstgebiete. Die Cultur in der Mehrzahl derselben ist meist auf die Poljen und Dolinen beschränkt. Der Boden der letzteren ist im adriatischen Karstgebiete eingemauert, um das Herabstürzen der Felsen zu verhindern. In Krain werden solche bebaute Dolinen Ograda (Einzäumung, Garten) in Istrien, Dolac genannt. Die größeren Dolinen in Montenegro, welche die Namen Do und Uvala führen, sind ebenso bebaut; dieselben sind oft in zahlreiche Parzellen getheilt, welche je einem Besitzer gehören und von einander durch Mauern getrennt sind. Im Triestiner Karste, wo große Dolinen vorkommen, sieht man oft dieselbe Erscheinung. Auf den Jonischen Inseln ist die Mehrzahl der terra rossa enthaltenden Dolinen mit Getreide und Wein bebaut.⁴⁾ Auf Jamaika wird in denselben die Kaffeecultur betrieben.⁵⁾

Selten sind die Dolinen mit Süß- und noch seltener mit Brack- oder Salzwasser erfüllt, und bergen beständig oder zeitweilig Dolinenseen. In Folge der Permeabilität des Kalksteines versickert das atmosphärische Wasser gleich nach dem Regen; bekanntlich herrscht deshalb in Karstgebieten eine Wassernoth wie in keinem anderen Terrain. Jede Lache bekommt als Trinkwasser für das Vieh große Wichtigkeit, und jene Dolinen, welche Wasser enthalten, sind daher von den Bewohnern geschätzt, so dass jede derselben ihren eigenen Namen hat.

Die Wasseransammlungen in den Dolinen sind wie in den Poljen zweierlei Art:

1. Das atmosphärische Wasser sammelt sich in jenen Dolinen, bei welchen der Zersetzungslehm jede Fuge und Spalte des Boden verstopft. Solche mit Tageswasser erfüllte Dolinen kommen in jedem Karstgebiete vor, die Mehrzahl derselben trocknet in heißen Monaten aus. Im Karste von Ost- und West-Serbien werden solche Lachen Lokve genannt, in Krain und im adriatischen Karste führen sie außer dieser Bezeichnung auch den Namen Kal. In Montenegro werden oft solche

¹⁾ Mittheilung des Herrn Prof. Penck. ²⁾ Hall, Geol. Survey of the State of Jowa 1858, p. 130, 131. ³⁾ Upham, Geol. of Blue Earth country T. I, p. 433. ⁴⁾ Dr. J. Partsch, »Kephallenia und Ithaka«. Ergänzt.-Heft 98 zu Petermanns Mittheilungen, 1890, p. 12. ⁵⁾ Sawkins, Op. cit., p. 22.

Lachen eingemauert und in die Ubli (Cisternen für das Vieh) umgewandelt. Zu dieser Gruppe dürften auch die von A. Boué ¹⁾ im Karste von Epirus beobachteten Lachen gehören. ²⁾

Auf Jamaika führen mit Wasser erfüllte sinks die Namen Lakes, Ponds und Lagoons je nach ihrer Größe und nach der Klarheit des Wassers. ³⁾ Möglicherweise gehören hieher die Lagoons und Pools der Karstlandschaften Nordamerika's, wie diejenigen des Kaibabplateau, ⁴⁾ von Kentucky, ⁵⁾ Indiana ⁶⁾ u. s. w.

2. Vielfach gehört die Wasseransammlung in den Dolinen dem Grundwasser an, und zwar entweder wird der Boden der Dolinen nur während der Regenzeit und Schneeschmelze vom steigenden Grundwasser erreicht und inundiert, oder die Dolinen sind beständig mit Grundwasser erfüllt. Darnach haben wir periodische oder ständige Dolinenseen. Eine Menge von Dolinen ersterer Art habe ich beim Dorfe Stubice in Montenegro beobachtet. Clesius beschreibt einige periodisch inundierte Dolinen bei Puži in der Umgebung von Fiume. ⁷⁾ Weit mehr als diese typischen werden die tiefen großen Dolinen inundiert (p. 10) Einige der Seen, welche sich am Fuße des Durmitorgebirges in Montenegro befinden, dürften ständige Dolinenseen sein; dieselben senken sich, nach Tietze ⁸⁾ und Hassert, ⁹⁾ durch den triadischen Kalk bis in das Niveau der impermeablen Wengener Schichten. Die Dolinen Jesero und Pavighe auf der Insel Veglia sind mit Quellwasser erfüllt. ¹⁰⁾ Mit Grundwasser sind wahrscheinlich auch jene Dolinen auf Meleda erfüllt, welche den Namen Vodice (Gutes Wasser) führen, ¹¹⁾ dann diejenigen auf dem Hochplateau von Merovigli auf Ithaka. ¹²⁾ Eine tiefe Doline im Bihargebirge, To fana de fundu (Teich ohne Grund) ist beständig mit Wasser erfüllt und dürfte bis zum Grundwasser reichen. ¹³⁾

In allen diesen Fällen handelt es sich um Wannen von den Maßen der echten Dolinen oder solchen, welche diese Dimensionen nicht beträchtlich übersteigen.

Neben diesen kleinen Lachen gibt es aber auch in allen Karstgebieten meist beständige Seen von etwas größeren Dimensionen, nämlich den Maßen der großen und tiefen Dolinen. Dieser Art sind z. B.

Lüner-See mit einer Länge von	1500 m,	Breite 900 m,	Tiefe 102 m ¹⁴⁾
Der Vordere Langang-See mit einer Länge von	800—900 m,	350 m,	77 m ¹⁵⁾
Blegisee mit einer Länge von	500 m,	300 m,	30 m ¹⁶⁾
Lac Genin mit einer Länge von	380 m,	260 m,	16 m ¹⁷⁾

Auch manche Hochseen in der Schweiz, welche keinen oberirdischen, sondern nur unterirdischen Abfluss haben, so der Taubensee an

¹⁾ A. Boué, »Europ. Türkei« I, p. 42. ²⁾ Ulrich, »Reisen und Forschungen«, I, S. 26, 27, 34; Neumann und Partsch, »Physikalische Geogr. von Griechenland«, 1885, p. 241. Vielleicht gehört hieher auch der kleine Bergsee des Parnass. ³⁾ Sawkins, op. cit., p. 155. ⁴⁾ Dutton, »Tertiary History of the Grand Cannon District«, 1882, p. 137. ⁵⁾ Owen, »Rep. of the geol. Survey of Kentucky«, 1856, p. 84. ⁶⁾ Cox, »Fifth Annual Rep. of the geol. Survey of Indiana«, 1874, p. 261. ⁷⁾ Verhandl. d. geol. R.-A., 1867, p. 159. ⁸⁾ Geol. Übersicht von Montenegro Jhrb. geol. R.-A. 1884. ⁹⁾ Reise durch Montenegro. 1893, p. 123. ¹⁰⁾ Lorenz, »Die Quellen des liburnisch. Karstes«. Mitth. d. k. k. geograph. Gesellsch. III, p. 103. ¹¹⁾ P. Partsch, »Detonationsphän. auf der Insel Meleda«. Wien 1826, p. 9. ¹²⁾ Dr. J. Partsch, »Kephallonia u. Ithaka«. Ergänzt.-Heft zu 98 Petermanns Mitth. p. 12. ¹³⁾ Schmidl, »Das Bihargeb.«, p. 29. ¹⁴⁾ Löwl, »Der Lüner-See«, p. 29. Aus der Zeitschr. des deutschen und österr. Alpenvereines 1888. ¹⁵⁾ nach freundlicher Mittheilung von Herrn Dr. Joh. Müllerer. ¹⁶⁾ Heim, »Klönsee und Blegisee«, p. 570. Aus dem Jhrb. S.-A.-C. XIX. ¹⁷⁾ Delebecque, »L'étude des lacs dans les Alpes et dans le Jura français. Revue générale des sciences 1892, Nr. 7.

der Gemmi, der Stockbornsee, der Glattentalpsee (Canton Schwyz), der Ober- und Niedersee (Canton Glarus), dann der Seewli und Klönsee gehören hieher. Baltzer nennt sie »Trichterseen mit unterirdischer Erosion«. Einige der trichterförmigen Tessiner Seen (Cadagno- und Tremorgiosee), welche sich in die Dolomite einsenken, sind als Einsturzseen gedeutet worden. An leeren Dolinen fehlt es in dieser Gegend nicht.¹⁾

Hieher gehört der Schwarzensee auf dem Schafberg im Salzkammergute, welcher eine Länge von 1100 *m* und eine Breite von 370 *m* hat, ferner der hintere Gosausee, welcher eine Länge von 750 *m* und eine Breite von 450 *m* besitzt. Ähnliche Dimensionen zeigen auch die sieben Seen der Komna im Triglavstocke, welche mit Dolinenphänomen in Zusammenhang gebracht worden sind.²⁾

Alle die genannten Seen zeichnen sich durch den Mangel eines oberirdischen Abflusses aus, bei den drei ersterwähnten sind Schlundlöcher constatirt, durch welche das Seewasser unterirdisch abfließt. Denkt man sich die großen Dolinen des adriatischen Karstes, z. B. jene bei Fiume (Ponikve und andere) mit Wasser erfüllt, so würde man Seen ganz ähnlicher Dimensionen erhalten. Es ist also kein Größenunterschied zwischen den fraglichen Seen und den bekannten Dolinen vorhanden, außerdem zeigen diese Seen unterirdischen Abfluss und treten meist in Gebieten auf, welche sonst reich an Dolinen sind, so dass die Folgerung nicht gewagt erscheint, dass man hier wassererfüllte große Dolinen vor sich hat. Ebenso dürften gewisse Seen in der Umgebung von Bugey, welche Delebecque lacs d'effondrement nennt, Dolinenseen dieser Art sein, wie z. B. Lac de Chavoley (Tiefe 15 *m*), d'Armaille (12, 50) und d'Ambléon (11 *m*). Der See von Armaille hat in der Tiefe von 6,50 *m* einen unterirdischen Abfluss.³⁾ Weiter sind jene Seen im Bergkalke von Irland, deren Entstehung Hull⁴⁾ der chemischen Auflösung des Kalksteines zuschreibt, nichts anderes als Dolinenseen; einige derselben zeigen auch unterirdische Entwässerung.

Als beständig mit Wasser erfüllte in der Regel brunnenförmige Dolinen dürften die meisten Quelltöpfe gelten. Schmidl erwähnt einige solche brunnenförmige, wassererfüllte Dolinen bei Duino im Triestiner Karste.⁵⁾ Die Augen des Guadiana dürften auch hieher gehören,⁶⁾ ebenso wie viele andere von Daubrée angeführte Beispiele.

Im Annecysee und adriatischen Meere treten am See- oder Meeresboden sublacustre und submarine Quelltöpfe auf, welche die Gestalt der brunnenförmigen Dolinen haben.

Delebecque hat im Annecysee bei Annecy, 200. *m* vom Ufer entfernt, einen tiefen Quelltopf wahrgenommen, welcher Boubioz genannt wird. Der Seeboden, welcher ringsum eine Tiefe von 25—30 *m* zeigt, sinkt unvermittelt bis zur Tiefe von 80,6 *m* und bildet eine, ihrer Kontur nach elliptische, brunnenförmige Vertiefung, deren Boden aus festem Gesteine besteht und eine relative Tiefe von 50 *m* zeigt. Die Böschung der Gehänge dieses sublacustren Quelltopfes erreicht stellenweise 40°. Die Temperatur des Quellwassers beträgt 11,8° C, während das

¹⁾ Baltzer, »Die Hochseen der Schweizeralpen«. Humboldt 1883, p. 96—98

²⁾ Diener, »Libanon«, p. 224. ³⁾ Delebecque et Etienne Ritter, »Exploration des lacs du Bugey«. Archives des sciences physiques et naturelles XXVII, 5. p. 2.

⁴⁾ Hull. »The physical geol. and geography of Ireland«. London 1878, p. 198

⁵⁾ Schmidl, »Grotten und Höhlen.« p. 194. ⁶⁾ Willkomm, »Die Quellen der Guadiana.« Zeitschrift für wissenschaftliche Geographie V. 1885, p. 17.

Wasser des Seebodens in entsprechender Tiefe eine Temperatur von $3,8^{\circ}$ C zeigt.¹⁾ Lorenz hat am Boden des adriatischen Meeres, u. zw. in der Nähe von Mošenica und Ika in Istrien brunnenförmige 60—70 m tiefe Quelltöpfe constatirt.²⁾ Ähnliche submarine Quelltöpfe finden sich auch südwestlich von Porte Cigale auf Lussin, dann südwestlich von Sansego u. a.³⁾

4. Dolinen, welche nahe der Küste liegen oder unter das Meeresniveau hinabreichen, enthalten Brack- oder Salzwasser. Auf der Insel Anguilla, welche nahe bei Jamaika liegt, enthalten Dolinen Brackwasser; dasselbe stammt von dem Grundwasser, welches mit den Gezeiten steigt und sinkt.⁴⁾

Die Dolinen Blato, Blatina und Slatina auf der Insel Meleda enthalten Brackwasser, trotzdem dass ihr Boden 3,5—5 m über dem Meeresspiegel liegt. Die Doline Progiura auf derselben Insel enthält beständig Salzwasser; sie steht mit dem Meere in Verbindung, von dem sie nur durch einen schmalen Rücken getrennt ist. Sie enthält auch zwei nur im Meere lebende Thiere.⁵⁾ Gegenüber der kleinen Insel Rogosnica in Dalmatien findet sich auf dem Festlande eine 30 m² große, mit Salzwasser angefüllte Doline.⁶⁾ Bei Epidaurus an der Ostküste des Peloponnes ist eine Doline nur 100 m vom Meere entfernt, ihr Wasserspiegel liegt 2 m über dem Meeresniveau, die Tiefe aber erreicht 30 m; sie steht mit dem Meere unterirdisch in Verbindung und enthält Brackwasser.⁷⁾

5. Im Hochgebirgskarste kommen Dolinen vor, welche mit kleinen Pausen das ganze Jahr hindurch oder den größten Theil des Jahres mit Schnee erfüllt sind. Die Karstplateaus der nördlichen Kalkalpen bieten unzählige Beispiele dieser Art. Im Dachsteingebirge beobachtete ich Dolinen, welche noch im Sommer vollkommen mit Schnee erfüllt waren. Dieselben sind durch zerfressene, von Karren durchfurchte, oft schmale Felsbarriären getrennt, welche aus dem Schnee hervorragen. Der Schnee schmilzt, das Wasser sinkt in den Boden und die Gehänge der Dolinen; es schneiet wieder und so sind diese Dolinen fast das ganze Jahr vom Schnee erfüllt. Diese Schneedolinen sind auf die höheren Partien des Dachsteinplateau, insbesondere auf die Umgebung des Karlseisfeldes beschränkt. Auch sonst kommen auf dem ganzen Plateau Dolinen vor, welche den Schnee viel länger bewahren als ihre Umgebung.

Im ganzen Gebiete der Tisselwand im Todten Gebirge treffen wir nur Dolinen, in deren Boden sich tiefe Löcher befinden, welche den ganzen Sommer hindurch mit Schnee gefüllt bleiben.⁸⁾ Das Karstplateau des Untersberges bietet zahlreiche Beispiele solcher Schneedolinen.⁹⁾ Im Hochgebirgskarste des Durmitorgebirges in Montenegro gewähren die Dolinen den Schneeannehlungen einen vortrefflichen Schutz; viele Dolinen sind hier das ganze Jahr mit Ausnahme von heißen Monaten

¹⁾ Delebecque, »Note sur les sondages du lac d'Annecy«. Extrait des Annales des Ponts et Chaussées. Mars 1891. p. 12. — Duparc, »Recherches sur la nature des eaux et des vases du lac d'Annecy«. p. 2. ²⁾ Lorenz, »Physikalische Verhältnisse und Vertheilung der Organismen im quarnerischen Golfe«. Wien 1863, p. 32. ³⁾ Lorenz, Op. cit. p. 52. ⁴⁾ Sawkins, Op. cit. Appendix I, p. 257. ⁵⁾ P. Partsch, »Detonationsphänomen« p. 11 u. 12. ⁶⁾ Gavazzi, »Ein Ausflug nach Rogosnica«. Ann. géol. de la Péninsule Balkanique T. III. p. 259. ⁷⁾ »Expédition scientifique de Morée« II, 2, p. 324. ⁸⁾ Geyer, »Über jurassische Ablagerungen auf dem Plateau des Todten Gebirges in Steiermark«. Jahrb. d. geol. R.-A. XXXIV. 1884, p. 336. ⁹⁾ Fugger, »Der Untersberg«. Zeitschrift des deutschen und österr. Alpenvereines, 1880, p. 11.

mit Schnee erfüllt. In Crkvica, im Karste von Montenegro, bleibt sogar der Schnee in einer Doline das ganze Jahr hindurch liegen.¹⁾ Hassert hat mehrere solche Dolinen im montenegrinischen Karste namhaft gemacht und abgebildet.²⁾ Auf dem Hochplateau des Libanon, insbesondere im Gebiete des Arz Libnan finden sich zahlreiche Dolinen, welche den ganzen Sommer hindurch mit Schnee erfüllt sind.³⁾

Es ergeben sich also über die Ausfüllung der Dolinen folgende Thatsachen:

1. Der Boden der Dolinen besteht aus festem Fels — nackte Dolinen.

2. Der Boden der Dolinen besteht aus Zersetzungslehm, welcher auf einer Kalksteinunterlage aufruht. Dieser Lehm ist als unlösbarer Rückstand bei der Auflösung des Kalksteines und Ausbildung der Doline zurückgeblieben (Eluvium) oder wurde während und nach der Bildung der Doline eingeschwemmt.

3. In schon gebildeten Dolinen wurde fremdes Material abgelagert, z. B. Moränenschutt in den Dolinen des Triaskalkes auf dem Dachsteinplateau. Während und nach der Bildung der Doline ist fremdes Material in dieselben eingesunken, wie in den dolinenähnlichen Gebilden bei St. Bend und Mankato in Nord-Amerika.

4. Die Dolinen sind mit Wasser erfüllt, u. zw.:

a) temporär, wenn ihr Boden nur in gewissen niederschlagsreichen Jahreszeiten vom Grundwasser erreicht wird oder wenn ihre Ausfüllung den Abfluss des oberflächlichen Wassers hemmt.

b) constant, wenn sie beständig bis zum Grundwasser hinabreichen (Dolinenseen); communiciert das Grundwasser mit dem Meeresspiegel, dann enthalten solche Dolinen Brack- oder Salzwasser.

5. Die Dolinen sind mit Schnee erfüllt (Schneedolinen).

5. Schlote.

Von den besprochenen echten Dolinen sind steilrandige, tiefe Schlote zu unterscheiden, welche zu Höhlen und unterirdischen Flüssen führen. Alle Gebilde dieser Gruppe erscheinen auf der Oberfläche als normale echte trichter- und brunnenförmige Dolinen, in der Tiefe aber setzen sich dieselben in kurze blind endende Höhlen fort oder stehen mit Höhlengängen und unterirdischen Flussläufen in Verbindung. Es sind unter den Schloten zwei Typen zu unterscheiden:

I. Die Avens sind steilrandige, tiefe Dolinen, welche in eine blind endende, meist kurze Höhle führen. Der Eingang der Avens ist in der Regel trichterförmig, selten brunnenförmig, besitzt einen runden oder ovalen Umriss und horizontale Dimensionen der normalen Dolinen; im weiteren Verlauf führt ein schlot- oder spaltförmiger Gang, der gelegentlich mit Erweiterungen versehen sein kann, zur blinden Höhle. Die Verbindung zwischen dem Schlote und der Höhle ist in der Regel äußerst schmal.

Im Triestiner und Krainer Karste bestehen die Avens meist aus einem senkrechten Schlote und einer horizontalen Höhle, welche ungefähr in einem rechten Winkel aneinander stoßen. Die Jama na Prevali (Fliegengrotte) bei St. Kanzian besteht aus einem 60 m tiefen verticalen

¹⁾ Tietze, »Geologische Übersicht von Montenegro.« Jahrb. d. geol. R.-A. 1884.

²⁾ Hassert, »Die Oberflächengestaltung Montenegros.« Globus Bd. LXI. N. 4, p. 2. — »Der Durmitor.« Zeitschr. d. deutschen u. österr. Alpenvereines 1892. Das Bild: Schneeflecken und Dolinen im Vališnicathale. ³⁾ Day, Geol. Mag. 1891, p. 91.

Schlote, der in eine 180 *m* lange horizontale Höhle übergeht. Zu diesem Typus gehören auch die Jamas: Tre Colonne bei Gabrovica, einige in der Umgebung von Nabresina, selbst die neue Grotte bei Divacca u. a. Wenn die Doline geneigt und die Höhle horizontal ist, dann stoßen beide unter einem stumpfen Winkel aufeinander; dasselbe Verhältnis zeigen auch jene Avens, welche aus einer senkrechten Doline und einer geneigten, blind endenden Höhle bestehen. Eine Jama (die »SchneiderGeorg-Grotte«), »Na Krassi« bei Trnovica im Triestiner Karste besteht aus einem geneigten, 60 *m* tiefen Schlote und einer horizontalen Höhle; eine solche Gestalt zeigt auch die Jama Bač bei Basovica. Nicht selten sind Doline und Höhle nach derselben Richtung geneigt, so dass die Doline als bloße Öffnung der geneigten Höhle erscheint; diese Form besitzt die Doline Mačk bei Basovica, die Triglavca zwischen Divacca und Corgnale¹⁾ u. a.

Zu diesem Typus gehört auch die Mehrzahl der Avens in Cevennen, wie der Aven Mas de Rouquet (Larzac), welcher aus einem verticalen, 75 *m* tiefen Schlote und einer horizontalen, kurzen Höhle besteht, dann Aven des Cats, Aven de la Bastarde²⁾ u. a.

Viele Avens in Causses von Cevennen zeigen eine von normalen Charakteren etwas abweichende Form, welche im Triestiner Karste ganz selten vertreten ist. Der verticale Schlot und die Höhle lassen sich nicht trennen und der Aven hat eine verwickelte, aus Engen und Erweiterungen zusammengesetzte Form. Der Eingang, sowie auch die Mehrzahl der Erweiterungen hat oft eine trichterförmige Gestalt, und der ganze Aven erscheint meist aus umgekehrten, übereinander liegenden Trichtern zusammengesetzt. Sie endigen als enge, mit terra rossa verstopfte Spalten. Aven de la Bresse bei Maubert im Cause Noire besteht aus einem trichterförmigen Eingange und drei umgekehrten, trichterförmigen, übereinander liegenden Erweiterungen, und setzt sich bis 120 *m* Tiefe fort. Dieselbe Gestalt zeigt auch Aven de Tabourel zwischen Maubert und Puech im Cause Noire³⁾ u. a.

Wie erwähnt, hat der Eingang der Avens die Dimensionen der normalen Dolinen; selten treten die Abweichungen von dieser Regel auf, wie z. B. im Aven de Guisotte, deren Eingang nur 1 *m* Durchmesser misst.⁴⁾

Die Avens treten in der Regel in jedem Karstgebiete auf.⁵⁾ Partsch erwähnt einige von den Jonischen Inseln; ein solcher bei Parithia auf Korfu besteht aus einer 180 *m* im Durchmesser und 40 *m* Tiefe messenden Doline, welche sich durch eine schmale Öffnung in eine 120 *m* lange Höhle fortsetzt.⁶⁾

Folgende Tabellen enthalten Maße von Avens im Triestiner und Krainer Karste.

¹⁾ Die Beispiele sind dem Grottenbuche I und II der Section Küstenland entnommen oder beruhen auf eigenen Beobachtungen. ²⁾ Vallot, »Grottes et Abimes«. Annuaire d. Cl. Alp. Franç. 1889, p. 159, 169. ³⁾ Martel, »Les Cévennes«, p. 359. ⁴⁾ Martel, »Sous terre«. 2^o campagne. Annuaire d. Cl. A. Franç. 1889, p. 111. ⁵⁾ Hausen (»Beiträge zur Grottenkunde Krains.« Jahresheft des Vereins des krainischen Landesmuseums. Laibach 1856, p. 40, 42, 43) hat in der Nähe von Laibach einige Dolinen untersucht (am Berge Strmec, beim Dorfe Žerovnik u. a.), welche die Avenform haben dürften. Die Avens habe ich in Ost-Serbien beobachtet, dann auf dem Dachsteinplateau vor dem Karleifelde u. s. w. ⁶⁾ Partsch, »Die Insel Korfu«. Ergänzungsheft Nr. 88 zu Petermanns Mittheilungen. 1887, p. 10.

Tabelle II.

	Name	Tiefe der Doline oder d. Schlot'es	Blind endende Höhle
Triestiner Karst. ¹⁾	Jama na Prevali bei Dane (St. Kanzian).	60 m	Drei kleine brunnenförmige Dolinen setzen sich in eine horizontale Höhle fort. Die Gesamtlänge 240 m.
	Jama Bač bei Basovica.	7—8 m	Aus sechs Hallen zusammengesetzte horizontale Höhle.
	Jama »Pitne Virlet« bei der Eisenbahnstation Nabresina.	—	Eine große seichte Doline geht mit geringer Neigung in eine 56 m lange horizontale Höhle über.
	Mačk bei Basovica.	—	42 m Länge.
	Die Grotte Grabovica bei Prosecco.	ca. 20 m	Horizontale 170 m lange Höhle.
	Die Grotte bei Trnovica (»Na Kras«).	ca. 60 m	Horizontale 400 m lange Höhle.
	Die Grotte Tre Colonne bei Gabrovica.	ca. 30 m	Ca. 200 m lang.
	Neue Grotte bei Divacca.	25 m	Eine horizontale 600 m lange, 120 m tiefe Höhle.
	Die Grotte neben dem Bahnhof Nabresina.	45 m	Zuerst steil geneigte, dann horizontale Höhle.
	Bisovčina Jama bei Sessana.	—	400 m lange, 105 m tiefe Höhle.
Krain. Karst.	Eine Jama bei Nabresina.	—	Große seichte Doline, geht in horizontale, 160 m lange Höhle über.
	Vanikova Jama (Opčina).	80 m	?
	Šiskatova Jama zwischen Opčina und Fernetič.	—	Eine Doline mit zwei 30 m und 100 m tiefen kurzen Höhlen.
	Klebenčnik zwischen Opčina und Fernetič.	50 m	?
	Eine Jama bei St. Giovanni (Tirmavo).	ca. 10 m	15 m lange horizontale Höhle.
	Pečina Jama (Felsdoline). ²⁾	—	Die Doline setzt sich in eine 80 m lange, 110 m tiefe, horizontale Höhle fort.
	Skofova Jama. ³⁾	19 m	130 m lang.
	Besdno am Lanski Vrt, nördlich vom Lase. ⁴⁾	38 m	Mit einer kleinen Schichthöhle in Verbindung.

Tabelle III.

Maße von Avens mit normaler Gestalt in den Causses der Cevennen:

Name	Tiefe	Länge der blind endenden Höhlen	Örtlichkeit
Mas de Roquet	75 m	ca. 200 m	Basses Cevennes
Aven des Cats	15 m	50 m	
Aven de la Bastarde ⁵⁾	30 m	Schmale horizontale Spalte	
Grotte de Geriols ⁶⁾	—	110 m	Causse noir
Aven de l'Altayrac ⁷⁾	70 m	140 m	
Aven bei Dargilan ⁸⁾	20 m	35 m	Causse gramat
Igue de Barrières	31 m	125 m	
Igue de Gilbert	25 m	40 m	
Igue de Saint-Martin	90 m	zwei kleine	
Grand Igue de Cloupsman	90 m	?	

¹⁾ Grottenbuch der Section Küstenland d. deutschen und österreichischen Alpenvereins. I u. II. ²⁾ Moser, Mitth. der Section für Naturkunde des österr. Touristen-Cl. 1890, p. 66. ³⁾ Kraus, »Das Ausland«. 1887, p. 1. ⁴⁾ Putick, Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch. 1889, p. 57—74. ⁵⁾ Vallot, »Grottes et Abimes.« Annuaire du Cl. A. F. 1889, p. 159, 169. ⁶⁾ Vallot, Op. cit., p. 147. ⁷⁾ Martel, »Sous terre«. 2^e campagne. Ann. du Cl. A. F. 1889, p. 102. ⁸⁾ Martel, »Sous terre«. Exploration des eaux souterraines et cavernes des causses. Ann. du Cl. A. F. 1888, p. 267.

N a m e	Tiefe	Länge der blind endenden Höhlen	Örtlichkeit
Petit Igue de Cloupman	25 m	15 m	} Causse gramat
Igue de Bar	33 m	300 m	
Igue de Biau . .	50 m	26 m	
Igue de Picastelle.	97 m	?	
Abîme des Alysses	6 m	Eine 70—80 m, andere 150 m	} Causse Martel
Gouffre de Bèdes ¹⁾	80 m	Eine 24 m, andere 20 m	
Aven de Monmercou	35 m	50 m	
Aven de Saule ²⁾	20 m	250 m	

Tabelle IV.

von Avens vom zweiten Typus in den Caussees von Cevennen:

N a m e	Tiefe	W o
Aven de la Bresse .	120 m	} Causse noir
Aven de la Tabourel	133 m	
Aven de Hures .	116 m	Causse Méjan
Aven de l'Egue.	90 m	} Causse noir
Aven de Combelongue	85 m	
Aven de Guisotte.	72 m	
Aven de Bessoles ³⁾	55 m	Causse rouge

II. Die Schlotte, welche mit Höhlengängen, oft mit unterirdischen Flüssen in Verbindung stehen. Alle diese Dolinen kommen in der Nähe der unterirdischen Flussläufe vor; sie sind in Krain auf das unterirdische Stromsystem der Laibach, im Triestiner Karste auf den Rekafluss, auf den Timavo, in Mähren auf den unterirdischen Lauf der Punkwa beschränkt. In Karstgebieten, welche der unterirdischen Flüsse entbehren, sind keine Schlotte dieser Art bekannt. Die Zahl derselben ist verschwindend klein im Vergleich mit der ungeheueren Häufigkeit der echten Dolinen. Es sind unter diesen Schloten zwei Varietäten zu unterscheiden.

1. Einfache, schacht- und trichterförmige, tiefe Dolinen, welche unmittelbar zu horizontalen Höhlen und unterirdischen Flussläufen führen, so dass das Tageslicht bis in dieselben gelangen kann. Wir werden sie mit dem Namen Light holes nennen, welcher auf Jamaica üblich ist. In Krain führen sie die Namen Jama und Luknja, in Cevennen Abîmes. Als Typus dieser Gruppe betrachten wir die Macocha oder die Jama der Rekahöhle.

Die Macocha im mährischen Karstgebiete befindet sich in einer seichten Depression, welche gegen das öde Thal zu geneigt ist. Sie hat eine ovale Gestalt, deren Längsaxe 178 m, die Queraxe 77 m beträgt. Die steilen, stellenweise senkrechten Wände fallen 137 m bis zum unterirdischen Laufe der Punkwa hinab. Ihre Längsaxe ist durch viele Cleavageflächen gekennzeichnet, welche beinahe parallel dem Schichtstreichen verlaufen (SOO—NNW); durch Cleavagen ist die Längsaxe bedingt und längs derselben wird die Macocha auch jetzt erweitert. — Ihre steilen Gehänge zeigen in geringer Höhe eine Stufe, von welcher die Wände beinahe senkrecht bis zum Boden hinabsteigen. Dieselben zeigen ausgeprägte Bruchflächen ohne viel Modellierung; von dieser Stufe bis hinunter besitzt die Macocha eine elliptische Gestalt. Am Boden

¹⁾ Martel, »Sous terre«. 3^o campagne. Ann. du Cl. A. F. 1890, p. 204, 205. 207—210. — »Sous terre«, 4^o campagne. Ann. du Cl. A. F. 1891, 212, 214, 217.

²⁾ Martel, »Sous terre«. 4^o campagne. Ann. du Cl. A. F. 1891, p. 224, 227.

³⁾ Martel, »Sous terre«. 2^o campagne. Annuaire du Cl. A. F. 1889, p. 102. — Les Cevennes«, p. 359.

des Schlotes sieht man den Lauf der Punkwa (Slouperbach), welcher in einen kleinen See aufgestaut ist. Am Boden sind auch kleine Fels- und Lehmkegel an den Enden jener scharf ausgeprägten Furche sichtbar, welche mit den Cleavagen und der Längsaxe coincidiert. — Eine auffallende Übereinstimmung mit der Macocha zeigt die große, steilwandige, tiefe Doline Pivka Jama im Adelsberger Karste.

Mit dem unterirdischen Flusslaufe der Reka bei St. Kanzian stehen vier schlotähnliche Dolinen in Verbindung, nämlich die Jama und Jamica, dann die Luknja bei Radonitzwarte und die Fuchsdoline, welche von einander durch Naturbrücken getrennt sind.

Tabelle V.

Maße von Light holes des Triestiner und Krainer Karstes und der Causées von Cevennen.

	N a m e	Umfang, Durch- messer	Tiefe	Höhlengänge und unterirdische Flussläufe, in welche sich die Doline fortsetzt.
Triestiner Karst.	Jama (Großer Trichter) .	400 m	160 m	Rekahöhle
	Jamica (Kleiner Trichter) .	—	130 m	Rekahöhle
	Okruglica (Runde Doline) ¹⁾ .	50 m	80 m	Rekahöhle (Mahorčić-Höhle)
	Černa Jama (Magdalenen- Grotte) ²⁾ .	—	32 m	Pivka-Höhle
	Pivka Jama ³⁾ .	—	73 m	Pivka-Höhle
Krainer Karst.	Die Doline bei Lase ⁴⁾ .	—	15 m	Graf Falkenhayn-Höhle
	Die Doline 200 m nördlich von Vranja Jama ⁵⁾ .	—	40 m	Lippert-Höhle
	Vranja Jama ⁶⁾	—	über 50 m	Unzhöhle
	I. Ein Schlot bei St. Giovanni	—	24 m	Timavohöhle
	II. Zweiter Schlot bei St. Gio- vanni ⁷⁾ .	—	48 m	Timavohöhle
	Macocha im mähr. Karste ⁸⁾ }	434 m	137 m	Slouperbach
		178 m		
Causées des Cévennes	Puits de Rabanel	—	212 m	Unterirdische Flüsse und Bäche
	Puits de Padirac .	ca. 14 m	108 m	
	Puits de Raynal ⁹⁾	—	105 m	
	Abîme de la Berrie ¹⁰⁾	—	27 m	Unterirdische Flüsse
	Tindoul de la Veysière ¹¹⁾ .	60 m	38 m	
	Remejadou ¹²⁾	40 m	25 m	

In jedem Karstgebiete, wo unterirdische Flussläufe vorhanden sind, kommen auch Dolinen dieser Gruppe vor. Die Light holes auf der Insel Jamaika sind breite 120 m tiefe Schlote mit verticalen Wänden, welche zu den unterirdischen Flüssen führen ¹³⁾; sie unterscheiden sich von den kleinen sinks und cockpits, welche unseren schüssel- und trichterförmigen Dolinen entsprechen. Die native wells im Karstgebiete Südaustraliens ¹⁴⁾ sind Schlote dieser Art, welche in der Regel zum Grundwasser führen. Einige breite und tiefe Dolinen, welche bis

¹⁾ Müller, »Zeitschrift des deutsch. und österr. Alpenvereines«, 1890, p. 193.
²⁾ Schmidl, »Grotten und Höhlen«, p. 106. ³⁾ Hauer, »Österr. Touristen-Ztg.«, 1886, p. 73; die Tiefe beträgt nach Schmidl (Grotten und Höhlen, p. 111) nur 57 m.
⁴⁾ Putick, »Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch.«, 1887, p. 561. ⁵⁾ Putick, Ibid., p. 561. Die Vranja und Mrzla Jama in Krain dürften auch hieher gehören. ⁶⁾ Putick, »Mitth. der k. k. geogr. Gesellsch.«, 1889, p. 57—74. ⁷⁾ »Grottenbuch der Section Küstenland«, II. Bd. ⁸⁾ Trampler, »Die Macocha«, XXXVI. Jahresbericht der Wiedener Communal-Oberrealschule, Wien 1891. ⁹⁾ Martel, »Les Cévennes«, p. 359.
¹⁰⁾ Martel, »Sous terre IV ième campagne«. Annuaire du Cl. A. F. 1891, p. 208 u. 219.
¹¹⁾ Martel, Ann. d. Cl. A. F., 1891, p. 230. ¹²⁾ Janet, L'aven de Remejadou«, Ann. d. Cl. A. F. 1891, p. 245. ¹³⁾ Sawkins, »Geol. of Jamaika«, p. 242 und 243.
¹⁴⁾ Woods, »Geol. Observations in South-Australia London 1862, p. 63.

zum unterirdischen Laufe des Dalebeckflusses (England) hinreichen, gehören auch zu den Light holes. ¹⁾ In Indiana in Nordamerika kommen auch solche Schlote vor, welche zum unterirdischen Wasser führen. ²⁾

2. Schlote, welche sich in einer engen Öffnung, sehr oft in einer Spalte in die Tiefe fortsetzen. Ein ganzes System von Kammern, welche durch bloße Spalten oder enge Canäle miteinander verbunden sind, führt zu horizontalen Höhlen oder zu unterirdischen Flüssen. Die Trebič-Grotte bei Triest beginnt an der Oberfläche mit einer kleinen 2·5—3 m Durchmesser messenden Doline. Sie setzt sich in eine bis auf 500 m erforschte, 270 m tiefe Höhle fort, welche aus drei Kammern besteht (die größte erreicht eine Länge von 125 m und eine Höhe von 50—80 m), welche durch ganz enge Canäle verbunden sind. Der Boden der Kammern zeigt eine Böschung von 10—15°, stellenweise ist derselbe eben; die Verbindungscanäle besitzen eine Böschung von 70°, stellenweise sind sie überhängend. ³⁾ Die Trebič-Grotte bei Triest, welche wir als Typus dieser Gruppe betrachten, besteht aus verticalen Spalten und horizontalen, kammerartigen Erweiterungen, die Spalten und Kammern wechseln ab und der Schlot setzt sich stufenförmig in die Tiefe fort. Erst in einer Tiefe von 320 m erreicht er einen unterirdischen Flusslauf.

Durch die Verwitterung und Erosion werden die Canäle und Spalten erweitert und diese engen Schlote in die Light holes verwandelt; umgekehrt aber können die Spalten und Canäle verstopft werden, so dass wir auch eine Art rudimentärer Schlote dieser Gruppe haben. Solcher Natur sind die Schlote (Kamine), welche in großer Anzahl die Decke der Slouperhöhle im mährischen Karstgebiete durchbrechen. Dieselben messen 0,40—3 m Durchmesser und besitzen eine Tiefe von 10—15 m (Kulna), 20 m (Tropfsteingrotte, Haupthalle und Ostrovicer Strecke), 60 m (der Gang zum geschrittenen Stein) bis 100 m (in der Halle beim alten Abgrunde) ⁴⁾ je nach der Mächtigkeit der Felsdecke. Aus der Höhle gesehen besitzen diese Schlote kreisrunde oder elliptische Öffnungen, welche gegen Außen zu enger werden und gewöhnlich mit Sinter verstopft sind. Aus einigen rieselt das Wasser auch jetzt fast das ganze Jahr hindurch. Jeder dieser Schlote besitzt in der Höhle sein durch ausgeprägte Wasserscheiden abgegrenztes hydrographisches Gebiet, so dass diese Höhlen ein compliciertes hydrographisches Netz haben.

Tabelle VI.

Dimensionen von Dolinen des Trebičtypus im Karste von Triest und Krain.

	N a m e	Tiefe	Die Höhlengänge oder unterirdische Flussgänge
Triestiner Karst	Trebič-Grotte { Morlot ⁵⁾ Morpurgo ⁶⁾	323 m	Grundwasser
		321 m	
	Die Doline bei Basovica auf dem Berge Ključ ⁷⁾	177 m	?
	Die Doline bei Fernetič, nördlich von Opčina ⁸⁾	180 m	?

¹⁾ Boyd Dawkins, »Die Höhlen und die Ureinwohner Europa's«, 1876.

²⁾ E. T. Cox, »Fifth Annual Report of the geol. Survey of Indiana«, 1874, p. 289, s. Shiloh Cave. ³⁾ Grottenbuch der Section Küstenland, I. ⁴⁾ Martin Křiž, »Die Höhlen in den mährischen Devonkalken und ihre Vorzeit«. I. »Die Slouperhöhlen«. Jhrb. d. geol. R.-A. 1891. Bd. XLI, p. 443. ⁵⁾ »Haidinger's Naturwissenschaftliche Abhandlungen«, 2, p. 257, 1848. ⁶⁾ La Grotta di Trebiciano, Trieste (Separat-Abdruck). ⁷⁾ Morlot, Op. cit., pag. 257. ⁸⁾ Morlot, p. 257.

	N a m e	Tiefe	Die Höhlengänge oder unterirdische Flussgänge
Triestiner Karst	Kačna Jama bei Divacca	253 m	Mit einer auf 800 m Länge erforschten Höhle
	Padrič-Grotte bei Triest ¹⁾	270 m	500 m lang
	Eine Doline bei Bishiak ²⁾	122 m	Grundwasser
	Kolčivka ³⁾	ca. 104 m	Mit Kolčivka-See in der Planina-Grotte
Krainger Karst	Jerzanova Dolina ⁴⁾	ca. 60 m	Mit Erzherzog Johann-Grotte (Adelsberger Höhle)
	Vražja Jama (auch Gradišnica und Besdno genannt) ⁵⁾	225 m ?	Unzfluss
	Etliche enge Schlote (?) »Pod stena- mi« im äussersten Norden von Pla- nina ⁶⁾	. 18—20 m	Mit Baron Winkler-Höhle

Dolinen vom Trebičtypus sind im Krainer und Triestiner Karste selten, viel seltener aber in anderen Karstgebieten. Eine solche, welche Besdana genannt wird, habe ich im Kučajgebirge Ost-Serbiens constatirt. Abîme de la Crouzate im Causse Gramat, zwischen Gramat und Reilhac, besteht, wie die Avens, aus drei übereinanderliegenden umgekehrten Trichtern, welche durch horizontale Canäle verbunden sind; in einer Tiefe von 90 m communiciert er mit einem unterirdischen Bache.⁷⁾

Aus den Tabellen V und VI wird ersichtlich:

In Krain und im Triestiner Karste sind nur ca. 20 Dolinen bekannt, welche mit unterirdischen Flussläufen und Höhlengängen in Verbindung stehen. Die Zahl der untersuchten Dolinen, welche überhaupt zu den Höhlen führen (einschließlich Avens) überschreitet nicht 35. Durch langjährige Untersuchungen sind in den Caussees der Cevennen ca. 40 schlotförmige Dolinen (Avens und Abîmes) constatirt, von welchen nur sieben zu unterirdischen Flussläufen und Höhlengängen führen.⁸⁾ Es ist also die Zahl der zu den Höhlen führenden Dolinen im Vergleich zu der ungeheueren Häufigkeit der echten schüssel- und trichterförmigen Dolinen verschwindend klein.

Von den in genannten Tabellen angeführten Dolinen haben die am Süd- und Nordabfalle des Karstes (in der Richtung gegen die Laibacher Tiefebene und das adriatische Meer) größere Tiefen als die Dolinen oben am Karste selbst. Die tiefsten, wie die Trebič- und Padričgrotte (323 m resp. 270 m) bei Triest, die Kačna Jama (180 m) bei Divacca, dann die Doline bei Basovica (177 m), Fernetič (180 m) und Briszhiak (122 m) befinden sich im Triestiner Karste. An dieselben schließen sich die Dolinen der Rekahöhle bei St. Kanzian an, welche auch bedeutende Tiefen zeigen (Jama 160 m, Jamica 130 m und Okruglica 80 m). Schon Schmidl⁹⁾ hat bemerkt, dass der südliche Karst die tiefsten Dolinen aufzuweisen hat. — Die Dolinen zwischen Adelsberg und Planina (Černa Jama 32 m, Pivka Jama 60—70 m, Jezzanova Dolina ca. 60, Kolčivka ca. 104 m), sowie auch die Dolinen hart am Nordrande des

¹⁾ »Grottenbuch der Section Küstenland«, I u. II. ²⁾ Schmidl, »Grotten u. Höhlen«, p. 194. ³⁾ Schmidl, »Grotten u. Höhlen«, p. 160. ⁴⁾ v. Hauer, »Österreichische Touristen-Zeitung«, 1886, Nr. 7, p. 73. ⁵⁾ Putick, »Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch.«, p. 483. Die obere Öffnung misst im Durchmesser: nach Putick 40 m. nach Schmidl 38 m und nach Urbas 57 m; die Tiefe ist nur bei Putick angegeben. ⁶⁾ Einen dieser Schlote erwähnt Kraus als Saugloch (Ausland 1887, p. 1) von 30 cm Breite und 20 m Tiefe. ⁷⁾ Martel, »Sous terre«, Annuaire du cl. A. F. 1891, p. 208; Paul Joanne, Dictionnaire géographique et administratif de la France et de ses colonies. II. p. 1180. ⁸⁾ Martel, »Sous terre.« 4^o campagne. Ann. du Cl. et F. 1891, p. 241. ⁹⁾ Schmidl, »Die Grotten und Höhlen«, p. 194.

Planinathales (die Doline bei Lase 15 m, Skofova Jama 19 m, Besdno am Lanjski Vrh 38 m, Ribja Jama 58 m, Smrečnica 60 u. s. w.) zeigen geringere Tiefen. Weiter liegt der Boden der Dolinen immer tiefer, je näher dieselben dem Thalrande der Laibacher Ebene situiert sind.¹⁾

6. Schutt- und Trümmerkegel in Schloten.

Am Boden der Avens, dort also, wo der Schlot mit einer horizontalen Höhle zusammenstößt, finden sich häufig Schuttmassen, zusammengesetzt in der Regel aus Zersetzungslehm und einzelnen eckigen Kalksteinstücken. Am Eingange in die Korgnaler Grotte habe ich einen mächtigen Schuttkegel beobachtet, welcher die erwähnte Zusammensetzung zeigt. Ein ebensolcher, ungefähr 10 m mächtiger Schuttkegel befindet sich am Grunde des 50 m tiefen Schlotes, in der Jama na Prevali (Triestiner Karst) bei Dane. Einen mächtigen Schuttkegel besitzen auch die Avens: »Na Krasi« bei Trnovica, die Tre Colonne bei Gabrovica²⁾ (Triestiner Karst) u. s. w. In einigen Avens, welche Martel³⁾ untersucht hat, befindet sich bloss terra rossa, durch welche schmale Spalten verstopft sind. In einem Aven, im Busdno bei Lase in Krain, hat Putick »gigantische Trümmer von Felsabstürzen«⁴⁾ beobachtet, welche nach ihm aber nicht auf den Einbruch der Höhlendecke zurückzuführen sind.⁵⁾

In jenen Avens, wo die Höhle eine geneigte Lage besitzt, findet sich der Schuttkegel nicht am Zusammenstoßen der Höhle und des verticalen Schlotes, sondern an geeigneter Stelle tiefer in der Höhle hinein, wie z. B. in der Brloghöhle bei Predsid in Kroatien⁶⁾; der Schuttkegel liegt in diesem Falle nicht unmittelbar unter dem Schlote, sondern etwas abseits von demselben.

Zwei Thatsachen sind bei den Schuttkegeln in Avens von Wichtigkeit: sie kommen regelmäßig am Übergange des Schlotes in die Höhle vor und sind meist hauptsächlich aus dem von der Oberfläche eingeschwemmten Material zusammengesetzt; es ist aber zweifellos und lässt sich durch Beobachtungen constatieren (p. 29), dass an der Zusammensetzung der Schuttkegel in Avens auch jenes Material theilnimmt, welches von der Zerstörung und Abbröckelung der Schlotwände herrührt. Es dürften solche Trümmer stellenweise vom Einbruche der Höhlendecke herrühren.⁷⁾

Auch in den Schloten, welche direct zu den unterirdischen Flussläufen und verzweigten Höhlengängen führen (nämlich den Light holes) befinden sich Schuttkegel und Trümmerhalden dort, wo dieselben mit Höhlen verbunden sind, ausgenommen jene Fälle, wo die Höhle von einem reißenden Fluss durchflossen ist.

Schuttkegel finden sich am Boden der von Putick⁸⁾ untersuchten Schlote bei Lase im Norden von Planina in Krain; der Schlot, welcher zur Graf Falkenhaynhöhle führt, besitzt »einen wild aufgethürmten Schuttkegel

¹⁾ Putick, »Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch.«, 1890, p. 515. ²⁾ »Grottenbuch der Section Küstenland«, I. u. II. ³⁾ De Launay et Martel, »Grottes et eaux souterraines«. Bull. de la Soc. géol. de France XIX, 1891, 165. ⁴⁾ Putick, »Die unterirdischen Flussläufe von Innerkrain«. Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch. XXXII. 1889, p. 61. ⁵⁾ Putick, Op. cit., p. 59. ⁶⁾ Eine gütige Mittheilung des Herrn Prof. Pilar, welcher mir auch eine Skizze der Prezidhöhle zur Verfügung stellte. ⁷⁾ Wir denken hiemit an zwei von Martel (Annuaire du Cl. et F. 1891, p. 204 u. 208) im Aven de Gibert und Petit Igue de Cloupman constatirte Schutt- und Trümmerkegel, welche er kurz als »cônes d'effondrement« bezeichnet. ⁸⁾ Putick, »Mittheil. d. k. k. geogr. Gesellsch.«, 1887, p. 561; dieselbe Zeitschr. 1890, p. 483.

aus groben Felstrümmern«. Der verticale Schlot, welcher zu der Lipperthöhle führt, enthält eine 25 m mächtige Schutthalde. In der Vrana Jama »reicht eine mehr als 80 m hohe Trümmerhalde von unten bis an den oberen Rand dieser circusartigen Terraindepression«. ¹⁾ Alle diese Schuttkegel und Trümmerhalden erklärt Putick durch Höhleneinbrüche.

Im Gegensatz zu dieser Ansicht findet Martel bei der Prüfung einzelner von ihm untersuchter Schlote nur einen, dessen Schutthalde höchst wahrscheinlich durch Deckensturz entstanden sein dürfte (Padirac). Der Abime de Rabanel hat einen 80 m langen, 35 m hohen Schuttkegel, welcher, nach seiner Zusammensetzung und nach der Natur des Schlotes nichts anderes ist als »grand cône de déjection des pierres tombées de l'orifice«. ²⁾ Im übrigen befinden sich kleinere, meist aus dem eingeschwemmten Material zusammengesetzte Schuttkegel. In der Macocha (vergleiche p. 23) sind durch Verwitterung und Abspülung Sand- und Trümmerkegel gebildet, welche von der Punkwa (resp. Slouperbach) nicht abgetragen werden konnten. In den Light holes auf Jamaika befinden sich mächtige Lehm- und Sandkegel. ³⁾

Die großen Light holes der Jama und Jamica, deren Grund vom reißenden Rekafluss durchflossen ist, enthalten weder Schutt- noch Trümmerkegel; dasselbe trifft man im Abime du Mas Raynal in Causses.

Nach ihrer Zusammensetzung lassen sich also unter den Schuttkegeln in den Light holes zwei Arten unterscheiden. Eine derselben besteht aus Zersetzungslehm und kleinen Kalksteinstücken, zeigt also dieselbe Zusammensetzung wie die Schuttkegel in den Avens, mit der einzigen Ausnahme, dass sich an denselben oft Sandmassen beteiligen, welche der Fluss führt; ihre Bildung erfolgt derart wie bei den Avens. Die zweite Art stellt mächtige aus Kalkfelsen zusammengesetzte Schuttmassen dar; dieselben rühren entweder vom Einsturz der Höhlendecke her oder von dem Abbröckelungsprocess, durch welchen schmale Schlote in große Light holes verwandelt werden können.

Die Schlote, welche dem Typus der Trebičgrotte angehören, enthalten meist terra rossa- und Schlammkegel mit eingestreuten Kalksteinstücken; seltener kommen in demselben große Blöcke vor. Als typischer Schuttkegel dieser Art ist jener zu betrachten, welcher sich unter der Kolčivka-Doline in Krain befindet. Am westlichen Ufer des Kolčivkasees in der Planinahöhle öffnet sich eine Kluft, an welche ein Schlammhügel anlehnt. Aus dieser Kluft zieht ein äußerst heftiger Luftstrom herab, sie verengt sich nach oben bald, so dass man nur auf allen Vieren vorwärts kann, und endlich schließt sich dieselbe bis auf eine schmale Spalte, welcher der Luftzug entströmt. Schmidl ⁴⁾ nimmt als wahrscheinlich an, dass die erwähnte Spalte der Hauptabzugscanal für die Niederschläge ist, die sich in der Kolčivka-Doline sammeln und daraus erklärt er den Schlammkegel.

Aus dem 320 m tiefen verticalen Schlote der Trebičgrotte gelangt man in eine Höhle, welche vom Flusse durchflossen ist, dessen Spiegel nur 15 m über dem Meeresspiegel liegt. An dieser Stelle befindet sich ein mächtiger, aus Lehm, Sand und Blöcken zusammengesetzter Schuttkegel. ⁵⁾ Beim Hochwasser steigt Flusswasser in den Schlot hinein, es übt

¹⁾ »Mittheil. d. k. k. geogr. Gesellsch.« XXXII, 1889, p. 70. ²⁾ Martel, »Les Cévennes et la region des Causses«, p. 361. ³⁾ Sawkins, »Geol. of Jamaika«, p. 243; Section of Light hole. ⁴⁾ Schmidl, »Grotten und Höhlen«, p. 140 und 160. ⁵⁾ Pignoli, »Karstwanderungen«. Zeitschr. d. deutschen und österr. Alpenvereines, XII, 1881, p. 381.

dabei einen sehr bedeutenden hydrostatischen Druck auf die Wände aus; infolgedessen werden von denselben einzelne Blöcke abgelöst und betheiligen sich an der Zusammensetzung des Schuttkegels. Wie hoch das Wasser ansteigt und wie großen Druck es dabei ausübt, lässt sich aus folgenden Angaben herleiten. Im Jahre 1868, October, erreichte das Wasser 80m über seinem gewöhnlichen Niveau und stieg in den Schlot hinein.¹⁾ Aus der Skizze der Trebiögrotte vom Ingenieur H. Sforzi, welche Morlot publiciert hat, entnehmen wir, dass das Wasser auch über 100 m hoch im Schlot ansteigen kann. Der hydrostatische Druck an sich kann nichts loslösen sondern nur die Loslösung begünstigen.²⁾

Unsere Ergebnisse fassen wir folgenderweise zusammen. In den Avens befinden sich meist Schuttkegel, aus eingeschwemmtem Material zusammengesetzt. Die vom Einsturz der Höhlendecke herrührenden Trümmerhalden kommen in den bisher untersuchten Avens äußerst selten vor. Solche Gebilde müssten in denselben aufbewahrt bleiben, nachdem in einer hochgelegenen, blind endenden Höhle keine transportierende Kraft wirkt. Dieselbe Natur wie die Schuttkegel in Avens zeigen auch jene, welche sich in den Light holes sowie auch in den Schloten vom Typus der Trebiögrotte befinden. In vielen Light holes kommen dagegen auch Trümmerhalden vor, welche nicht durch Einschwemmung erklärt werden können. Solche Felstrümmer sind:

1. Durch Verwitterung und Erosion von den Schlotwänden abgelöst; dieser Ablösungs- und Abbröckelungsprocess wurde in vielen Schloten³⁾ durch den wechselnden hydrostatischen Druck begünstigt, welchen das ansteigende Flusswasser auf die Schlotwände ausübt, wie dies Martel für die Trümmer in Mas du Raynal bewiesen hat;⁴⁾ durch diesen Abbröcklungsprocess werden Spalten nach und nach in Schlote und diese allmählich in Light holes erweitert.

2. Durch Deckeneinsturz, welcher sich bis an die Oberfläche fort-pflanzt, wird der Schlot gebildet, welcher am unteren Ende mit großen Felstrümmern ausgefüllt ist.

Es ist also klar, dass man auf Grund der Felstrümmer enthaltenen oder gar auf Grund der lediglich aus Lehm und Kalksteinstücken zusammengesetzten Schuttkegel nicht ohne Weiteres den Schluss ziehen kann, dass die Schlote über denselben durch Einsturz entstanden sind.

Wir haben die Ursachen erwähnt, auf welche die Bildung der Schutthalden in den Höhlen zurückzuführen ist, wenn dieselben mit aven- und schlotförmigen Dolinen communicieren. Auch ganz unabhängig von solchen Schloten können die Trümmer- und Schuttkegel in den Höhlen gebildet werden, nämlich durch Einstürze der Seiten-, Scheidewände- und partielle Deckeneinbrüche und unter Spalten im Kalksteine, welche in den Höhlen ausmünden.

Die Trümmer, die sich von einer Seitenwand loslösten, liegen vor derselben und thürmen sich gegen dieselbe hinauf. In den von Flüssen durchflossenen Höhlen entstehen die Trümmerhalden durch den Einbruch

¹⁾ Pignoli, Op. cit., p. 383. ²⁾ Morlot, Über die geol. Verhältnisse von Istrien. Haidingers Naturwissensch. Abhandlungen. 1848, 2, p. 257. ³⁾ Czoernig, »Karsthöhlen«. Mitth. d. deutschen und österr. Alpenvereines 1886. p. 65 u. 66; Putick (Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch. XXXII, 1889, p. 73) hat in der Mrzla Jama in Krain beobachtet, wie infolge eines Blitzschlages von dem anstehenden Gestein zwei riesige Felsblöcke abgesprengt und zum Absturz gebracht worden sind; ähnliche Beobachtungen, welche durch keine außerordentliche Ereignisse verursacht waren, hat Czoernig in der vorerwähnten Notiz mitgetheilt. ⁴⁾ Martel, Les Cévennes, p. 363. — Launay et Martel, Bull. de la Soc. géol. de France XIX, 1891, p. 146.

unterwaschener Scheidewände, welche dem Anprall der Wellen nicht widerstehen können. Die Trümmer eines Deckeneinsturzes verhalten sich anders als jene einer Seitenwand, indem sie die ganze Breite des Höhlenraumes erfüllen und in der Regel ein conisch aufgeschichtetes Felsenmeer bilden; auf partielle Deckeneinstürze ist der Calvarienberg in der Adelsberggrotte, jener in der Luegergrotte, der Golgota in der Planinahöhle, jener in der Laasergrotte, zurückzuführen. Solche partielle Deckeneinstürze, welche sich nicht bis an die Oberfläche fortpflanzen, sind auch in der Pekorogerhöhle in Ost Serbien, in der Dargilargrotte und Hanhöhle in Belgien constatirt worden. Schmidl hat über den rein partiellen Deckeneinstürzen in der Planinahöhle Dolinen nachgewiesen. Es dürfte nicht richtig sein solche Dolinen als durch Einsturz entstandene zu bezeichnen, wie dies Schmidl und Tietze thun.¹⁾ In beiden Fällen haben wir mit Deckeneinstürzen zu thun, welche sich nicht bis an die Oberfläche fortpflanzt haben.

Dieselben Schuttkegel, wie am unteren Ende der Dolinen vom Typus der Trebičgrotte, habe ich dort beobachtet, wo eine Spalte in der Höhle ausmündet. In der Ravanicahöhle in Ost-Serbien sind viele Schuttkegel vorhanden, trotzdem dass keine Dolinen an der Oberfläche über der Höhle vorkommen. Sie befinden sich am unteren Ende der Spalten, welche die Höhlendecke bis an die Oberfläche durchsetzen. Solche Schuttkegel enthalten oft große, von der Decke abgelöste Felstrümmer. Durch die Wirkung des zufließenden Wassers wird das Deckengestein an solchen Stellen locker; die Ablösungen von Felsen finden oft statt.

Es ist also nicht berechtigt, wenn, wie oft geschehen, aus dem Vorhandensein von Schuttkegeln in den Höhlen der Schluss gezogen wird, dass über denselben Dolinen liegen.

Aus der Betrachtung über Schuttkegel in Light holes und Dolinen vom Typus der Trebičgrotte wissen wir, dass oft unter denselben Schuttkegel in den Höhlen liegen. Umgekehrt sind mir nur zwei Beispiele bekannt, wo über den Schuttkegeln in der Höhle wirklich Dolinen constatirt sind. H r a s k y hat, nach einer kurzen Mittheilung von K r a u s die Correspondenz zwischen einem Schuttkegel in der Gurkhöhle (Krain) und einer Doline an der Oberfläche constatirt.²⁾ Über einem Schuttkegel in der Erzherzog Johanngrotte wurde die große Jerzanova Dolina an der Oberfläche gefunden. Die Correspondenz zwischen denselben ist nicht bestimmt, aber doch mit großer Wahrscheinlichkeit erwiesen.³⁾ Beide Berichte, welche diese wichtigen Thatsachen besprechen, theilen nichts über die Art der Verbindung zwischen Doline und Höhle mit; ebenso wird der Schuttkegel im letzten Falle bald als Trümmerwall, bald als Schuttmasse angesprochen, so dass man über die Natur desselben nicht im klaren ist. Man kann glauben, aber nicht überzeugt sein, dass diese Dolinen durch Einsturz entstanden sind. Dies umso eher, weil nach unseren Kenntnissen solche Dolinen meist mit schmalen Spalten zu den Höhlen führen und nicht durch Einsturz entstanden sein können. Wir erinnern hier an die Schmidl's Beschreibung der Kolčivka, sowie auch den Schuttkegel und die Verbindung der Trebičgrotte. Selbst solche

¹⁾ Schmidl, Grotten u. Höhlen p. 151; Tietze, Zur Geol. der Karsterscheinungen Jhrb. d. geol. R-A XXX, 1880 p. 745. ²⁾ Kraus, Die Entwässerungsarbeiten in den Kesselthälern von Krain. Wochensch. d. österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1868 N. 13. — ³⁾ v. Hauer, Die Arbeiten des Karst-Comités im Jahre 1885 Oesterr. Touristen-Zeit. 1886 N. 7 p. 73

Dolinen, welche über einem große Felsen enthaltenden Schuttkegel liegen, müssen nicht durch Einsturz entstanden sein.

Wir fassen unsere Ergebnisse zusammen:

1. Wenn Dolinen über partiellen Höhleneinstürzen auch sicher constatirt werden, so sind dieselben doch nicht durch Einsturz entstanden.

2. Man ist nicht berechtigt aus dem Vorhandensein von Schuttkegeln in den Höhlen den Schluss zu ziehen, dass über denselben Dolinen liegen.¹⁾

7. Schwemmlanddolinen.

Neben den echten Dolinen, Avens und Light holes gibt es häufig am lehmigen Boden von Karstwannen, nämlich der großen Dolinen, blinden Thäler und Poljen, trichterförmige Einsenkungen von Dolinengestalt, die wir Schwemmlanddolinen nennen wollen.

Zur Feststellung der Eigenschaften der Schwemmlanddolinen lasse ich zuerst meine in Laufe von drei Jahren gemachten Beobachtungen im Kučaj- (»Golubinje«) Gebirge Ost Serbiens folgen.

Der westliche Theil des Kučaj-Gebirges ist von drei Reihen großer von Ost nach West verlaufender, trogförmiger Einsenkungen, deren Längsaxe 1—1,5 km misst, durchzogen. Einige derselben sind mit einem stellenweise bis 8 m mächtigen gelben Lehm ausgefüllt. Die Unterlage des gelben Lehm bilden Kaprotinenkalksteine, aus welchen das ganze die erwähnten Einsenkungen einschließende Terrain zusammengesetzt ist. Diese trogförmigen, langen Dolinen, deren Boden mit Lehm bedeckt ist, enthalten oft kleine, trichterförmige Schwemmlanddolinen im Durchmesser bis 10 m.

Die Mehrzahl dieser alluvialen Dolinen ist durch scharfe Contouren gegen ihre Umgebung begrenzt; dieselben zeigen noch frische aus Lehm zusammengesetzte Böschungen, welche auf junge Entstehung dieser Dolinen hinweisen.

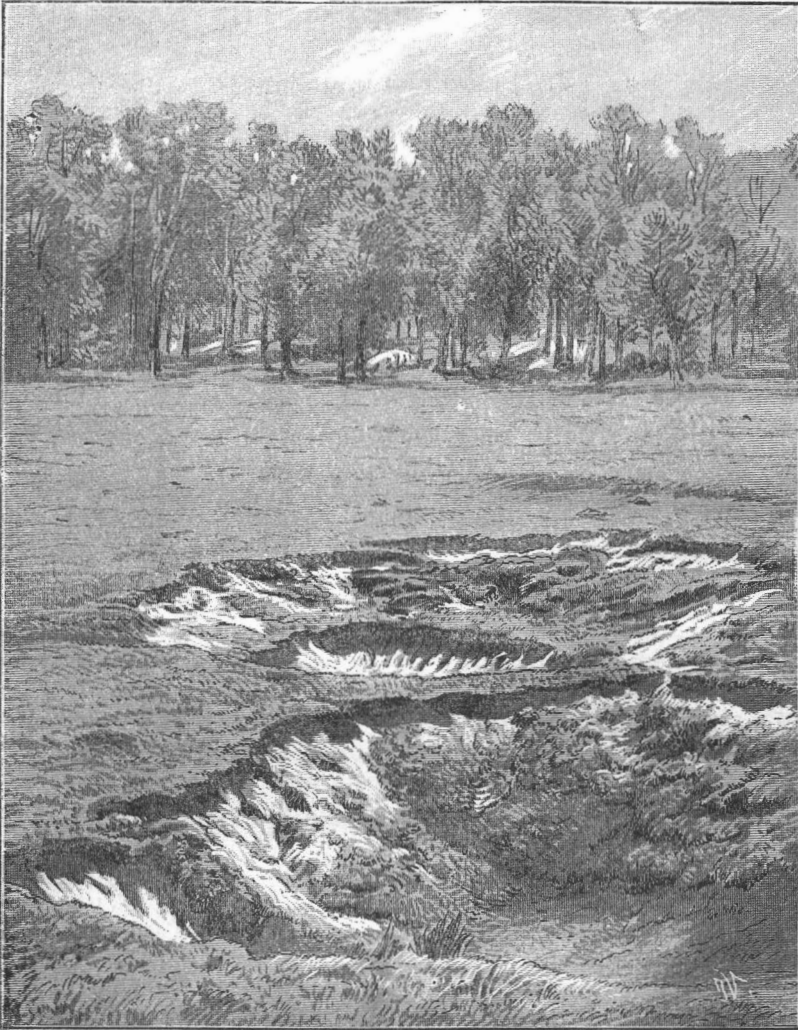
Man sieht sehr oft in der Mitte der Böschungen der alluvialen Dolinen eine scharfe Contour, welche den Rand einer neuen Doline kennzeichnet. Wir haben also in der Hauptdoline eine innere Doline, welche steilere Böschungen als die ersterwähnte zeigt. Es kommen auch solche Fälle vor, wo in einer Hauptdoline nicht nur eine sondern zwei und drei innere Dolinen vorhanden sind.

Die alluvialen Dolinen sind großen Veränderungen ihrer Gestalt ausgesetzt; dieselben gehen hauptsächlich bei großen Regen und in der Zeit der Schneeschmelze vor sich. Im Laufe von drei Jahren konnte ich mehrmals die Bildung neuer, kleiner solcher Dolinen beobachten, deren anfänglicher Durchmesser nicht die Länge von einigen Decimeter übersteigt.

In Folge der Veränderungen, welche die Schwemmlanddolinen durchmachen, nehmen dieselben auch verschiedene Bekleidungen an: eine Schwemmlanddoline macht verschiedene Vegetationsphasen durch. Das Stadium der großen und oft vor sich gehenden Veränderungen ist durch frische, lehmige vegetationslose Böschungen charakterisiert. Nach dem Eintritte des Stillstandes verschwinden die scharfen Conturen und die charakteristischen Vorsprünge

¹⁾ v. Hauer, l. cit. die Meinung von Kraus.

der inneren Dolinen und die ganze Doline bekleidet sich mit Rasen. Zwischen diesen zwei Hauptphasen schiebt sich unregelmäßig eine dritte, welche eigentlich den Anfang des Stillstandes bezeichnet: die Doline versumpft und der flache Boden derselben wird mit Sumpfvvegetation bedeckt. Es ist aber nicht nöthig, dass jede Schwemmlanddoline alle Veränderungen in der Pflanzenbekleidung durchmacht, bis sie zum Stillstande gelangt. Umgekehrt wiederholen sich häufig diese



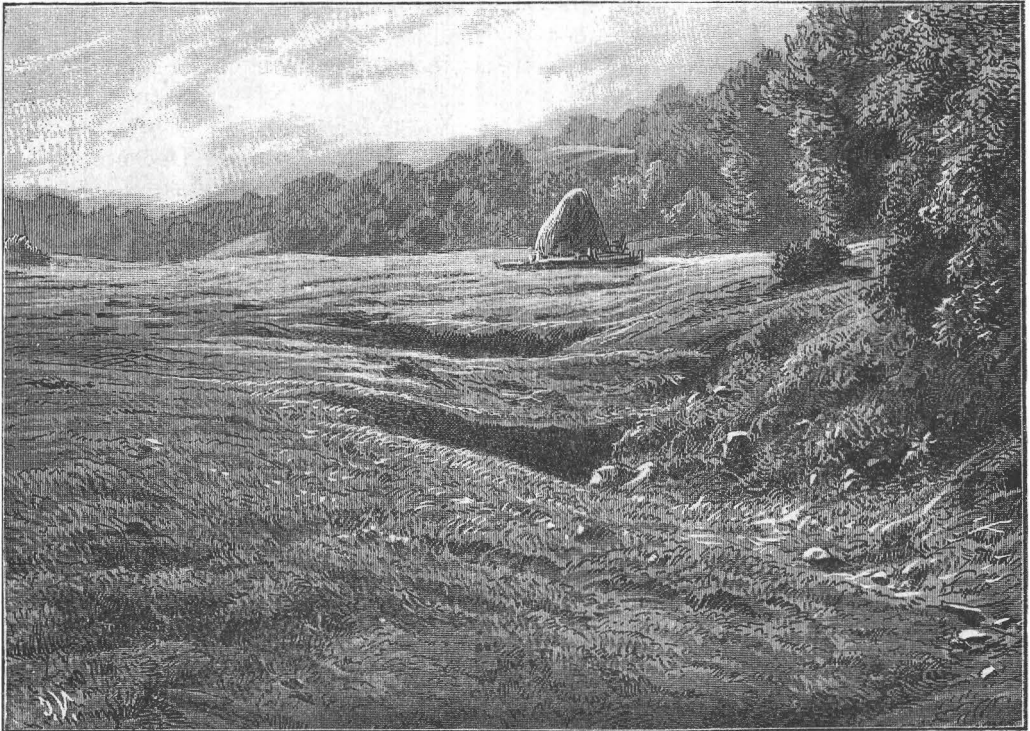
Alluviale Dolinen mit scharfen Contouren aus dem Kučajgebirge Ost-Serbien.

Vegetationsphasen an einigen großen Veränderungen ausgesetzten Dolinen; dieselben sind in fortwährender Umwandlung der Form und Bekleidung begriffen.

Scharfe Contouren, durch welche sich die Hauptdoline gegen ihre Umgebung abhebt, dann am Rande derselben vorhandene frische Risse weisen auf ein plötzliches Nachsinken des Schuttes hin. Die inneren Dolinen, welche ihrer nachträglichen Entstehung nach secundäre

Schwemmlanddolinen genannt werden können, zeigen, dass sich derselbe Process wiederholt. Durch das Vorhandensein der secundären Dolinen ist ersichtlich, dass das Wachstum einer alluvialen Doline meistens von Innen nach Außen vorsich geht. Bei jeder Bildung einer secundären oder inneren Doline senkt sich zuerst der Schutt in der unmittelbaren Umgebung der Spalte im festen Gesteine, die oberen Partien bleiben ohne Unterlage, es folgt ein weiteres, schwächeres Nachsinken, welches sich bis zur Peripherie der Hauptdoline fortpflanzt.

In der Unterlage des gelben Lehms, nämlich dem stark zerklüfteten Kaprotinenkalksteine ist die Ursache der erwähnten Veränderungen und der Entstehung der alluvialen Dolinen zu suchen. Die obere Endigung



Alluviale Dolinen mit sanften Böschungen aus dem Kučajgebirge Ostserbiens.

der Spalte, welche unmittelbar unter dem Lehme liegt, wird durch die chemische Erosion des versickernden Wassers zu einem Loche erweitert. Der über dem Loche gelegene Lehm wird dadurch seiner Unterlage beraubt. Das plötzliche Nachsinken des gelben Lehms wird bei großen Regengüssen oder in der Zeit der Schneeschmelze erfolgen. Der Schlot wird so verstopft. Jedem neuen Eröffnen des Schlotes oder jeder Erweiterung desselben wird das lose Material nachgeben: die alluvialen Dolinen machen neue Umwandlungen durch.

Im Karste von Montenegro kommen stellenweise alluviale Dolinen vor. Ich habe dieselben zwischen Ubli und Broćanac beobachtet: in großen, mit Zersetzungslehm ausgefüllten Dolinen von Bijela Poljana, und Velja Ravan unter dem Berge Pusti Lisac, dann in der Umgebung von

Luginar treten kleine alluviale Dolinen auf. Im mährischen Karste und zwar nordöstlich von der Macocha habe ich einige kleine alluviale Dolinen wahrgenommen.

Die besprochenen Gebilde konnten, ihrer großen Veränderungen wegen nicht unbemerkt bleiben. Pilar hat in einem als Manuscript gedruckten Werke derselben Gebilde deutlich Erwähnung gethan. Er schreibt nämlich:

»Diese mit den erwähnten jungertiären Ablagerungen ausgefüllten (von Diluviallehm bedeckten) Mulden haben als Untergrund die vorher besprochenen Karstkalke, und soweit die letzteren wasserdicht sind, ist die Anschwemmungsfläche ziemlich eben. Erhält aber diese Kalkunterlage durch Gebirgsdruck oder sonstige tellurische Kraftäußerungen senkrechte, in größere Tiefen reichende Spalten, so ist es um die weichen Sedimente geschehen. Es bilden sich im weichen Material über den Spalten einzelne senkrechte Löcher, welche sich durch Auswaschung nach und nach trichterförmig erweitern, jedes Jahr vermehren und die Ebene immer mehr verunstalten.

An manchen Stellen gehen diese Veränderungen so rasch von statten, dass mancher Grenzerjüngling, welcher nach einigen Decennien sein Vaterland wiedersah, wohl sagen konnte, es sei durch Neubildung von Trichtern gar nicht mehr zu erkennen gewesen.«¹⁾

Nach dieser Darlegung kann es kein Zweifel sein, dass Pilar hier ausschließlich von alluvialen, im weichen Sedimente entstehenden Dolinen spricht, welche Thatsache Tietze gänzlich übersieht, wenn er den letzten Satz (von »An manchen Stellen« . . . bis »zu erkennen gewesen«)²⁾ des Vorstehenden als auf Dolinen im allgemeinen bezüglich mittheilt und darnach sagt: »Wer möchte unter solchen Umständen noch an der Einsturznatur der Karsttrichter zweifeln?« Der von Tietze citierte letzte Absatz von den obigen Darlegungen Pilar's ist in alle neueren Arbeiten über das Karstphänomen als der Hauptbeweis für die »Einsturznatur der Karsttrichter« übergegangen. Die schwere Zugänglichkeit von Pilar's Schrift macht erklärlich, dass man den wahren Sinn jenes Satzes nicht erkannt hat.

Ebenso wie die Poljen Südwestkroatiens enthalten auch jene Westbosniens viele alluviale Dolinen, welche noch zahlreicher erscheinen werden, wenn man sie den eigentlichen Kalksteindolinen entgegenstellt. Die Schwemmlanddolinen fungieren beim Hochwasser in den Poljen als Ponore und sie werden deshalb oft als solche bezeichnet.

Im niedrigsten Theile des Mostarsko Blato in der Hercegovina befinden sich über hundert trichterförmige Schwemmlanddolinen, welche bei Hochwasser als schlechte Sauglöcher dienen; in Folge dessen braucht das Mostarsko Blato 30 Tage zur Entwässerung. Einige dieser Schwemmlanddolinen messen $10-12 \times (m?)$ im Durchmesser, und erst in einer Tiefe von $10 m$ beginnt die Spalte im Kalksteine, an welche die Doline gebunden ist.³⁾ Viele Dolinen in diesen Poljen haben »erdige Wände«, wie der Ponor Saljeva Sama in Ljubuško Blato⁴⁾ in der Hercegovina, dann der Paripovića Ponor und die Prbića Ponore im

¹⁾ A. Bayer, Tietze und Pilar, Die Wassernoth im Karste der kroatischen Militärgrenze, als Manuscript gedruckt und herausgegeben über Anordnung des k. k. General-Commandos in Agram, als Landesverwaltungsbehörde der kroat.-slav. Militärgrenze. Agram 1874 p. 142. — ²⁾ Tietze, Zur Geol. der Karsterscheinungen. Jhrb. d. geol. R-A 1880 p. 755. ³⁾ Mittheilungen d. Section f. Höhlenkunde, 1885, N. 5. ⁴⁾ l. cit.

Krbavicathale;¹⁾ die Schwemmlanddolinien sind auch die Erdlöcher des Koreničko Polje,²⁾ die Ponoren in Groß-Popina³⁾ u. a. In allen diesen Fällen besitzen die Schwemmlanddolinien eine Kalksteinunterlage und als ihre Fortsetzung erscheinen Spalten und Schlote im Kalksteine. Ebenso bestehen viele Schwemmlanddolinien im Ratschnathale in Krain.⁴⁾

Es liegt bis jetzt kein einziger sicherer Bericht über einen Fall vor, in welchem eine Felsdoline durch Einsturz entstand. Auf die alluvialen Dolinen bezieht sich die überwiegende Mehrzahl jener Einstürze, welche in der Literatur über Karstphänomene erwähnt worden sind und als Beweise für die Entstehung der echten Felsdolinien verwendet wurden. Neue Schwemmlanddolinien entstehen oft. Das Zeugnis von Pilar ist als ein Ausdruck des Volkes zu betrachten, welches auf einem solchen unruhigen Terrain wohnt und die Erscheinungen im Laufe vieler Jahre beobachtete. Es fehlen aber auch in anderen Karstgebieten verlässliche Mittheilungen über die Bildung neuer Schwemmlanddolinien nicht.

Im Jahre 1854 entstand beim Dorfe Mjasojedow im Gouvernement Toula eine Doline, und der Einsturz erfasste auch eine benachbarte, welche vor zwölf Jahren entstanden sein soll, so dass die beiden Dolinen verschmolzen. Das betreffende Terrain besteht aus Kohlenkalk, welcher mit einer mächtigen Decke von Diluviallehm bedeckt ist. Es ist von Interesse, dass sich die neu entstandene Doline mit noch zwölf innerhalb einer schmalen geradelinigen Zone befindet, welche wahrscheinlich eine Verwerfung darstellt. Diese Angaben, sagt Abich,⁵⁾ berechtigen zu der Ansicht, dass der Einsturz ausschließlich im diluvialen Lehmboden und dem mit ihm verbundenen eisenreichen Thone niedergieng.

Gelegentlich des Erdbebens von Klana bemerkte man südlich vom Orte Novokračina in der Alluvialausfüllung des Kessels eine Stelle, an welcher die Erde nach und nach versank und sich eine trichterförmige Vertiefung ausbildete. Offenbar, meint Stur,⁶⁾ ist unter den Alluvionen das Gewölbe irgend einer untenliegenden Höhle des Kalkes in Folge der Erschütterung eingebrochen und durch die entstandene Öffnung das darüber lagernde Alluvium in die Höhle eingesunken. Das ist eine Möglichkeit. Wenn man aber bedenkt, dass eine alluviale Doline in der »Alluvialausfüllung des Kessels« entstand, so ist es auch ebenso wahrscheinlich, dass wir es in diesem Falle mit einem verstopften Schlotte oder Spalte zu thun haben, welche durch die Erschütterung eröffnet wurde und sich eine alluviale Doline oberhalb derselben nach und nach ausbildete.

In Sinjsko Polje in Dalmatien entstehen nicht selten neue kleine Seen, durch das plötzliche Versinken des alluvialen Bodens. Dieser Zufall, schreibt Fortis,⁷⁾ hat sich unlängst vor den Augen des Morlaken Bilonoski (in der Wiese Morgude) ereignet. Der Boden versank auf einmal in einem Umkreise von 35 Schritt und die Grube füllte sich mit schlammigem Wasser an.

¹⁾ »Mittheilungen d. Section f. Höhlenkunde«. 1884, N. 4, p. 57. ²⁾ Ibid. p. 58. ³⁾ Otto Křifka, »Aus Süd-Ostkroatien.« Ibid. 1884. N. 3, p. 35. ⁴⁾ v. Hauer, »Bericht über die Wasserverh. in d. Kesselthälern v. Krain.« Österr. Touristen-Zeitung 1883. N. 3. ⁵⁾ Abich, »Über einen in der Nähe von Toula stattgefundenen Erdfall«, p. 262. Aus den Mélanges physiques et chimiques 1854. T. II. ⁶⁾ Stur, »Das Erdbeben von Klana im Jahre 1870.« Jhrb. d. geol. R.-A. 1871, p. 238. ⁷⁾ Abbate Alberto Fortis, »Reise in Dalmatien.« Bern 1776, p. 108.

Der neuerstandene Naturschacht von Brunndorf (Studeneč), südlich von Laibach zeigte in großem Maßstabe denselben Process, durch welchen alle alluviale Dolinen entstehen. Der Einsturz ereignete sich im Jahre 1889. Das Ackerbauministerium hat einen Techniker entsendet, »um einen Befund an Ort und Stelle aufzunehmen«. Die Resultate dieser Untersuchung waren folgende:¹⁾

»Die Tiefe kann nur unter 100 *m* betragen, und diese vertheilt sich folgendermaßen: auf die Überlagerung des festen Gesteins mit losen Steintrümmern und Lehmhängen entfallen 25 *m*. Von der oberen Grenze des Anstehenden bis auf den Grund zeigte die Lothung weiter 53 *m*. Der durch Einbruch erzeugte Schuttkegel hat eine Höhe von 13 *m*, ragt aber nur 5 *m* aus dem am Grunde befindlichen Wasser hervor.« Wir haben es hier zweifellos mit einem plötzlichen Nachsinken des Alluvialbodens, nicht des festen Kalksteines zu thun. Die ganze Beschreibung und der kleine Schuttkegel stimmen damit überein. Aus der Mittheilung von Kraus entnehmen wir, dass dieser verdiente Höhlenforscher derselben Ansicht ist. Er erwähnt noch, dass »kleine Erdfälle wohl ziemlich häufig in den Niederungen am Karste vorkommen«.

Nach einem heftigen Regenguss entstand im August 1891 bei Cayrouse im Causse de Gramat am Boden einer Doline (cloup) ein Aven von 1 *m* Durchmesser und 30 *m* Tiefe. Martel²⁾ glaubt, dass durch die Wirkung des atmosphärischen Wassers die dünne Decke einer Höhle, welche sich unter der Doline befand, durchbrochen wurde. Sein Gewährsmann theilt keine nähere Angaben mit, welche erlauben würden, die Meinung von Martel zu prüfen. Es ist nicht festgestellt, dass dieser Einsturz oder Durchbruch im festen Gestein vor sich gieng.

Den größten Umgestaltungen sind die Schwemmlanddolinen in den Poljen ausgesetzt, wo oft auch neue entstehen.

Im Polje von Groß-Popina (Südwestkroatien) ist die Bildung neuer Schwemmlanddolinen mit ausgesprochener Trichterform — »Einsturztrichter«³⁾ — zu bemerken, welche Vertiefungen vor einem Decennium noch nicht bestanden.⁴⁾ Der Ponor Prokop (eine Schwemmlanddoline) im Alluvium des Ljubuško Polje in der Hercegovina ist erst im Laufe des Sommers 1883 entstanden.⁵⁾ Es ist bekannt, dass sich im Zirknitzer See oft neue Sauglöcher bilden.⁶⁾

Im Gegensatze zu diesen Erscheinungen sind sicher festgestellte Fälle bekannt, wo die Schwemmlanddolinen in Poljen verschwunden sind; die Verstopfung der Spalten und Schlotte im Kalksteine ist die Ursache dieser Erscheinung. In Imotsko Polje sind viele Sauglöcher verschwunden.⁷⁾ Die Schwemmlanddoline Kamine im Zirknitzersee gehört nicht mehr zu den Sauglöchern.⁸⁾ Überall ist die Zahl der Sauglöcher höchst veränderlich. Gruber konnte im Zirknitzer See 28 Sauglöcher constatieren,⁹⁾ nach den neueren Beobachtungen lässt sich diese Zahl nicht mehr bestätigen.¹⁰⁾

¹⁾ Fr. Kraus. »Der neuerstandene Naturschacht von Brunndorf.« Das Ausland 1890. p. 255. ²⁾ Martel, »Sous terre.« 4^e campagne. Ann. du Cl. A. F. 1891. p. 213. ³⁾ Otto Krifka, »Aus Südwestkroatien.« Mittheilungen d. Section f. Höhlenkunde. 1884. N. 3. ⁴⁾ Krifka, loc. cit. ⁵⁾ R. Schmid, »Mittheilungen d. Section f. Höhlenkunde.« 1885. N. 2. ⁶⁾ Hauer, »Berichte über die Wasserverhältnisse in den Kesselthälern von Krain.« Österr. Touristen-Zeitung. 1883. N. 3. ⁷⁾ R. Schmid, loc. cit. ⁸⁾ Urbas, »Das Phänomen d. Zirknitzersees u. d. Karsthäler v. Krain.« Zeitschrift d. deutschen u. österr. Alpenvereines. Bd. X. 1879. p. 31. ⁹⁾ Gruber, »Physikalische Briefe aus Krain.« p. 107. ¹⁰⁾ Urbas, loc. cit.

Die Schwemmlanddolinen sind eine Combination aus Spalten oder Schloten im festen Gesteine und aus schüssel- oder trichterförmigen Vertiefungen, welche in losem, darüber befindlichem Material gelegen sind. Sie kommen desshalb nur dort vor, wo auf dem Kalksteine eine mächtige Decke von meist permeablem Schutt, Sand oder Eluvium aufruhet. Von den echten, im festen Gesteine gelegenen Dolinen müssen sie streng auseinander gehalten werden.¹⁾

8. Das Verhältniß der Dolinen zu den Höhlen.

Die eigentlichen horizontalen Höhlen kommen in jedem Karstgebiete vor. Als eine Merkwürdigkeit der Erdkruste sind sie von jeher bekannt und studiert worden und über dieselben sind viele Monographien und erschöpfende Darstellungen vorhanden. Von unserem Standpunkte unterscheiden wir folgende drei Arten von Höhlen:

1. Große, weitverzweigte Höhlengänge, welche als active oder verlassene Bette der Karstflüsse erscheinen. In jedem Karste besteht ein Haupthöhhlensystem, welches zu dieser Gruppe gehört. Es communiciert in der Regel durch zwei Öffnungen mit der Oberfläche: einer oberen, welche sich im blinden Thal oder Polje befindet und als Eingang für den verschwindenden Karstfluss dient und einer unteren, die sich am Rande des Karstgebirges oder des Karstplateaus befindet und als Ausgang des Karstflusses fungirt. Der Karst in Krain ist durch zwei solche Haupthöhhlensysteme charakterisiert: durch das Höhlensystem der unterirdischen Läufe der Laibach und Gurk, mit den Höhlengängen, welche sich über dem unterirdischen Bette dieser Flüsse befinden und als verlassene, früher wasserführende Höhlen zu betrachten sind. Im Triestiner Karste treffen wir das Höhlensystem der Reka, im mährischen Karstgebiete jenes der Punkwa, in den Causses der Cevennen die Höhlensysteme des Bramabiau, Dargilan u. s. w. Diese Höhlen sind Producte der Flusserosion, deren Wirkung oft durch Diaklasen und Verwerfungen bestimmt und befördert wurde. Das Sickerwasser ist von secundärer Bedeutung. Durch dasselbe ist, insbesondere in vom Flusse verlassenen Höhlengängen, die Höhle weiter ausgestaltet und mit Sinterkruste, Stalaktiten und Stalagmiten ausgefüllt. Die Auflösung des Kalksteines durch Kohlensäure enthaltendes Sickerwasser und die Erosion desselben waren oft die Ursachen, dass die Höhlen durch neue Öffnungen an der Oberfläche sichtbar wurden. Diese neuen Fenster, welche senkrecht von der Oberfläche zu den Höhlen führen, sind theilweise auf die Abbröckelungs- und Einsturzprocesse zurückzuführen.

Zu diesen Höhlen gehören auch stark verbreitete Gehängehöhlen, durch welche das Thalgehänge der Karstflüsse oft ausgezeichnet ist. In verschiedenen Höhen über der jetzigen Thalsole der normalen und blinden Karsthäler liegen Höhlen, welche meist ein Gefälle in das Berginnere zeigen und deutliche Zeichen der Flusserosion (Gerölle, Erosionsflächen) enthalten. Selten kommen solche Gehängehöhlen vor, welche ein umgekehrtes Gefälle, aus dem Berginnern gegen das Flussthal, besitzen. Sie sind, ebenso wie die vorerwähnten, ein Product der Flusserosion aus jener Zeit, als der Fluss in höherem Niveau dahinfloss.

¹⁾ Kraus (Verh. d. geol. R.-A. 1888. p. 144 und Verh. 1887. p. 54) unterscheidet zweierlei Dolinen: »Plateaudolinen im Anstehenden können als primäre Erscheinungen betrachtet werden, die Seedolinen, die auf der Sohle der Kesselhäler häufig als Sauger fungieren, sind secundärer Natur.«

Weniger widerstandsfähige Schichten, Diaklasen, seltener Verwerfungen haben oft die Richtung der Flusserosion prädisponiert. Einige dieser Höhlen habe ich im Karste Ostserbiens untersucht. Zu solchen gehören auch jene in Mähren, welche durch die Forschungen von Křiž näher bekannt wurden.

2. Trockene, kurze, blind endende oder verborgene Höhlen, welche in höherem Niveau, oft nahe der Oberfläche, liegen. Sie sind ausschliesslich durch Auflösung des Kalksteines und Erosion desselben durch Sickerwasser entstanden. Zu solchen gehören die Divača- und Korgnalgrotte, viele verborgene Höhlen, welche oft beim Abbau der Kohle in diesen Gebieten angefahren wurden.

Am Boden der trockenen Höhlen kommen oft schüssel-, trichter- oder brunnenförmige Dolinen vor, welche wir subterrane Dolinen nennen. Die trockenen Gehängehöhlen Ostserbiens, insbesondere die Prekonoger-¹⁾ und Zloterhöhle,²⁾ enthalten eine Reihe von solchen Vertiefungen. Die Slouperhöhlen sind auch durch dieselben ausgezeichnet. Die Kreuzberghöhle bei Laas in Krain enthält in ihrem Boden eingesenkte Dolinen; der Tiberiassee in derselben Höhle dürfte eine mit Wasser angefüllte Doline sein.³⁾ In Folge dessen entbehren die trockenen Höhlen meist des gleichsinnigen Gefälles.

3. Grundwasserhöhlen sind meist die tiefsten Höhlen der Karstgebiete, welche sich an der Grenze des Kalksteines und der undurchlässigen Gesteine befinden. In Ostserbien ist der Kalkstein im westlichen Theile des Kučajgebirges von rothem Sandstein unterteuft und an der Grenze derselben kommen die Höhlen vor. Auf Jamaika sind große Höhlen zwischen den weißen Kalksteinen und den Sandsteinen und Mergel constatirt worden.⁴⁾

Die Light holes und die Dolinen vom Trebičtypus stehen in Verbindung mit den Höhlen der ersten und dritten Gruppe. Sie sind also an weitverzweigte Höhlengänge oder an Grundwasserhöhlen gebunden. Je näher dem Rande des Karstgebirges oder Karstplateaus, desto mehr senkt sich der Grundwasserspiegel und der Boden der wasserführenden Höhlengänge, so dass auch die Dolinen immer tiefer werden.

Die Avens sind solche Dolinen, welche meist mit hochgelegenen blinden Höhlen in Verbindung stehen.

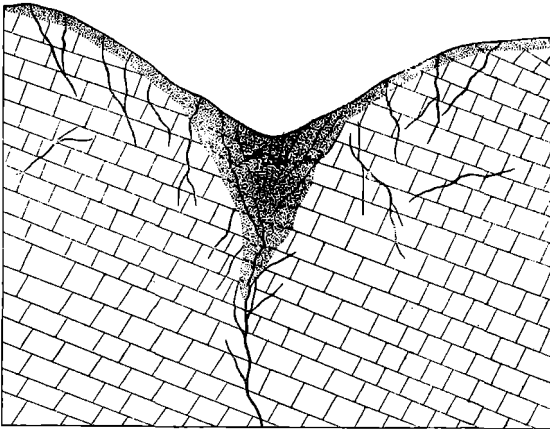
Über die Gestaltung der typischen schüssel- und trichterförmigen Dolinen herrscht bei der Mehrzahl der Karstforscher die Ansicht, dass dieselben nichts anderes sind als verstopfte Avens oder Light holes. Sie unterscheiden sich, nach dieser Meinung, von den vorerwähnten Dolinentypen nur dadurch, dass eine Trümmer- und Schutthalde aus der Höhle bis in die Doline hinaufreicht und den Boden derselben bildet. Die Höhle ist an jener Stelle durch den Schuttkegel abgesperrt, der Aven oder die Light hole sind in eine Doline umgewandelt. Es sind bisher nur zwei Dolinen namhaft gemacht, welche wahrscheinlich die erwähnte Gestaltung zeigen: die Doline über der Gurkhöhle und die große Jerzanova Dolina über der Erzherzog Johanngrotte. Trotzdem sind solche Fälle denkbar und die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen,

¹⁾ J. Cvijić, »Prekonogerhöhle.« Ann. geol. de la Péninsule Balcanique. T. III. 1891. p. 159. ²⁾ J. Cvijić, »Geograph. Untersuchungen im Kučajgebirge Ostserbiens.« Ann. geol. de la Péninsule Balcanique. T. V. 1893. ³⁾ Hochstetter, »Denkschriften d. k. Academie d. Wissenschaften.« B. 43, I. Abth. p. 293. ⁴⁾ Sawkins, »Geol. of Jamaika.« Siehe: Section of Light hole.

dass sie stellenweise im Karste vorkommen können, aber ihre Existenz ist noch streng zu erweisen. Die Behauptung hingegen, dass alle kleinen Dolinen verstopfte Aven sind, ist auch als eine Möglichkeit nicht zulässig. Wenn man auch davon absieht, dass dann der adriatische Karst, wo oft 40—50 Dolinen auf einen Quadratkilometer kommen, kontinuierliche Hohlräume nahe der Erdoberfläche voraussetzen würde, so stehen auch gegenüber jenen zwei, nicht vollständig bewiesenen Fällen, zahlreiche andere, bei welchen vollkommen klar ist, dass die kleinen typischen Dolinen Oberflächenformen sind.

Nackte Dolinen, welche ich oft im adriatischen Karste und im Kučajgebirge Ost-Serbiens beobachtete, schließen jeden Zweifel darüber aus. Der Boden dieser Dolinen besteht, ebenso wie die Gehänge, aus festem, anstehendem Kalksteine. Solche Dolinen sind oft bemerkt (S. 18) und es ist mir nicht bekannt, dass an denselben irgendwelche andere Beobachtung gemacht wurde.

Die bloßgelegten, angeschnittenen Dolinen geben einen vollständigen Aufschluss über die Zusammensetzung ihres Untergrundes und alle Beobachtungen, welche darüber vorliegen, zeigen nur,



Durchschnitt einer 3 m tiefen Doline mit Unterlage.
Unterloitsch in Krain.

verfolgen, welches die Unterlage bildet und ebenfalls entblößt ist. Es befindet sich also unter der Doline ein nach unten zugespitzter Keil von verwittertem Kalksteine, dessen Höhe 3—5 m, dessen obere Breite 2—3 m beträgt. Derselbe ist in nebenstehender Zeichnung punktiert. Der Keil ist von unzähligen Fugen und Spalten durchsetzt, so dass er aus einzelnen Kalksteinstücken besteht, welche in einer Umhüllung von terra rossa liegen. Stellenweise ist die terra rossa nesterförmig in den Lücken zwischen den Kalksteinstücken angesammelt. In der Doline selbst zeigen die Gehänge eine durch terra rossa gefärbte Zersetzungszone, welche ohne scharfe Grenzen in das frische Gestein übergeht. Alle durchschnittenen Dolinen zeigen dieselben Erscheinungen in größerem oder kleinerem Maßstabe.

Ähnliche Beobachtungen haben, nach einer Mittheilung von v. Mojsisovics,¹⁾ jene Ingenieure gemacht, welche beim Bau der Südbahn auf der Strecke Adelsberg-Nabresina betheilt waren. Sie haben auch constatirt, dass die Dolinen nach unten zu abgeschlossen sind und mit

¹⁾ Diener, »Libanon«, p. 220 u. 221.

Infiltrationsgängen im festen Gesteine endigen. Dieselben Beobachtungen wurden nach v. Mojsisovics an den untergefahrenen Dolinen bei dem Abbau der Saldame in Istrien gemacht.¹⁾

Die Karstgebiete sind nicht so höhlenreich, wie man unter der Voraussetzung dachte, dass alle unzählige Dolinen, welche auf ihnen vorkommen, abgeschlossene Avens und Light holes sind. Dieses Ergebnis liefern die Untersuchungen, welche durch eine Reihe von Jahren in den Causses der Cevennen und in Krain angestellt wurden. Die Causses sind, hebt Martel besonders hervor, wenig höhlenreich.²⁾ Die typischen Dolinen (Cloups) führen nicht zu Höhlen, besitzen keine verborgene oder geöffnete puits naturels in ihrem Boden,³⁾ wie die Avens und Light holes. Zu einem ähnlichen Ergebnisse führen auch die Untersuchungen der Section Küstenland und diejenigen, welche in Krain angestellt wurden.⁴⁾ Wir berücksichtigen die Ergebnisse dieser Arbeiten an anderer Stelle.

Die kleinen, schüssel- und trichterförmigen Dolinen sind also Oberflächenformen, welche mit Höhlen in der Regel nur mit schmalen Spalten in Verbindung stehen.

C. Locale Vertheilung und Anordnung der Dolinen.

Die Schlote, welche weit spärlicher als die echten Dolinen auftreten, sind vorzugsweise an die unterirdischen Flussläufe gebunden. Die echten Dolinen und Avens kommen in einem Karstgebiete überall vor, nur sehr steile Böschungen sind in der Regel dolinenfrei;⁵⁾ doch gibt es gewisse Formen der Landoberfläche, welche das Auftreten der Dolinen besonders zu begünstigen scheinen.

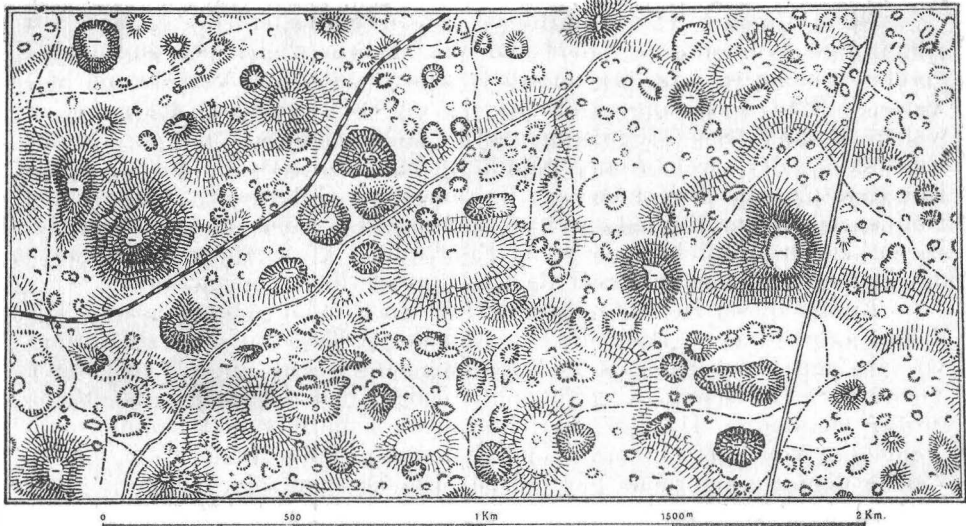
Die Karstplatten und Karstplateaus sind die wichtigsten Oberflächenformen, auf welchen Dolinen in der Regel in ungeheurer Menge auftreten. Die südistrische Karstplatte ist in vielen Partien wirklich blattersteppig; auch der Krainer und Triestiner Karst zeigt mehrere solche Partien, wie die Umgebung von Unterloitsch (Ravnik und Scalces Kamen), von Divacca, Leseče, Korgnale, Sessana u. s. w. Nebenstendes Kärtchen zeigt den Dolinenreichtum von etwa 3 km² südlich Sessana, während das andere die großen und tiefen Dolinen südöstlich von Fiume in kleinerem Maßstabe darstellt. Häufig trifft man Dolinen auf der Plateauoberfläche der Causses der Cevennen. Am Dachstein, im Todten Gebirge, in den Julischen Alpen treten Dolinen in großer Häufigkeit auf.

Die breiten Grate des Karstgebirges sind oft durch unzählige Dolinen ausgezeichnet, wie das Dinaragebirge im adriatischen Küstenlande.⁶⁾ Solche Gebirge besitzen meist keinen Kamm, welcher auf längere

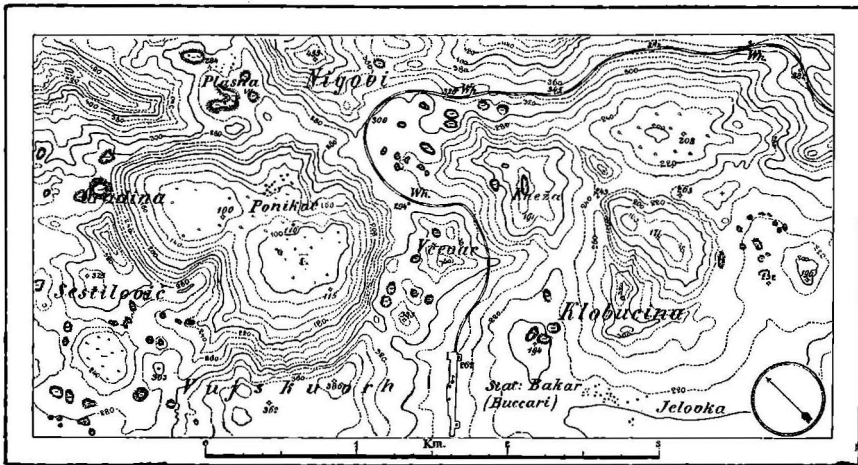
¹⁾ Diener, Libanon, p. 220 u. 221. ²⁾ Martel, Ann. du Cl. A. F., 1889, p. 128.

³⁾ Martel, Ann. du Cl. A. F., 1891, p. 212. ⁴⁾ Wir weisen auch auf eine Beobachtung von Diener hin. Er bemerkt »das gänzliche Fehlen« jeder Art von Dolinen und Karsttrichtern im ganzen Gebiete des Wüstenkalkes im Antilibanon, trotzdem dass dieser eocene Kalkstein durch einen großen Reichthum an Höhlen und Grotten charakterisiert ist. (Libanon, p. 215 u. 216.) ⁵⁾ Sanft geneigte Böschungen sind stellenweise durch Dolinen ausgezeichnet, wie ich spärlich vorkommende Dolinen am südwestlichen, bewaldeten Gehänge des Staricagebirges in Ost-Serbien beobachtete. Solche mit Dolinen besäete blattersteppige Gehänge zeigt der Berg Kokuš nächst Basovica (Moser, Der Karst, p. 7). Diener (Libanon, p. 219) hat blattersteppige Gehänge von 40° Neigung in den Julischen Alpen beobachtet. Solche steile, von Dolinen besetzte Gehänge erwähnt auch Hassert in seiner Publication über Montenegro. ⁶⁾ Zittel, »Die Morlakei«, Österr. Revue, 1864, 2. Bd., p. 230.

Strecken zu verfolgen wäre, sondern zeigen einen Netzkamm, der aus eingelagerten Dolinen und dazwischen liegenden schmalen, scharfen Firnen besteht. Der Kamm des südlichen Velebit ist durch unzählige Dolinen gänzlich verwischt. Selbst die Gipfel des Karstgebirges, wenn dieselben nur ebene oder flach geneigte Flächen darstellen, tragen Dolinen, wie diejenigen des Durmitorgebirges in Montenegro,¹⁾ der Monte Spaccato bei Triest,²⁾ Rtanjgebirges in Ost-Serbien.³⁾



Dolinenlandschaft südlich vom Bahnhofe Sessana 1 : 20.000.
(Nach der Umgebungskarte von Triest, 1 : 14.400, des k. u. k. militär-geogr. Institutes.)



Die großen Dolinen südöstlich von Fiume 1 : 50.000.
(Nach der Originalaufnahme, 1 : 25.000, des k. u. k. militär-geogr. Institutes.)

Die blinden Thäler und die Poljen enthalten echte Dolinen; in denselben kommen häufiger Schwemmland-Dolinen vor.

Die Dolinen treten also vorzugsweise auf ebenen und sanft geneigten Formen des Karstgeländes auf. Steile Böschungen sind in der Regel bloß von Karren besetzt. Die Dolinen sind an die Formen be-

¹⁾ Hassert, »Reise durch Montenegro«, 1892, p. 123. ²⁾ »Grottenbuch der Section Küstenland«, I. ³⁾ Milićević, »Das Fürstenthum Serbien«, p. 351 (in serbischer Sprache).

schränkt, auf welchen das Wasser, infolge der Permeabilität des Kalksteines durchsickern muss; die steilen Böschungen, wo das atmosphärische Wasser vorzugsweise oberflächlich abfließt, sind dolinenfrei und von Karren besetzt.

Die Dolinen zeigen in der Regel keine bestimmte Anordnung; sie sind auf den Karst-Platten, in den Poljen und blinden Thälern unregelmäßig zerstreut. Linear angeordnete Dolinen kommen nur stellenweise vor.

Die Dolinen letzter Anordnung zeigen entweder eine einzige, oft geradlinige Dolinenreihe oder sind aus mehreren solchen zusammengesetzt, welche in ihrer Gesammtheit eine thalähnliche Verästelung aufweisen. Eine 1 km lange Dolinenreihe in Ost-Serbien (Kučajgebirge), welche Padina (Senke) genannt wird, stellt eine 50—100 m schmale Einsenkung dar, welche aus geradlinig angeordneten Dolinen besteht. Ein Karstplateau (Ravni Gabar) in demselben Gebirge ist von einigen Dolinenreihen durchfurcht, welche aufeinander stoßen und in ihrer Gesammtheit thalähnlich erscheinen. Eine solche Verästelung zeigen auch die kleinen Dolinen im Forêt de Chailluz nördlich von Besançon.¹⁾

Einige dieser Dolinenreihen dürften an Brüche gebunden sein. Die linear angeordneten Dolinen bei Leseče im Triestiner Karste bringt Reyer mit Verwerfungen in Zusammenhang. Auf einer 5 km langen Verwerfung zwischen Kreplje und Šmarje befindet sich eine Reihe großer Dolinen.²⁾ Diener berichtet,³⁾ dass die Kranjska Dolina, dann diejenigen von Lom, Javornik und Rudnopolje einer Dislocation folgen, welche dem Kernabruche parallel ist. Die Dolinen von Belopolje sind, nach Diener, auch an einer Verwerfung, welche das Poklukaplateau im Osten zum Absinken bringt. Das Kučajgebirge Ost-Serbiens zeigt drei von Ost nach West verlaufende Reihen von großen elliptischen Dolinen, welche mit Brüchen im Zusammenhange stehen dürften.⁴⁾ Auf der fränkischen Alb trifft man linear angeordnete Dolinen, welche, nach G ü m b e l,⁵⁾ an Spalten gebunden sind. Selbst in wenig dislocierten Gebieten kommen Dolinenreihen vor, welche an Spalten liegen, wie jene 13 Dolinen beim Dorfe Mjasojedow im Gouvernement Toula.⁶⁾

Weit häufiger sind diese Dolinenreihen mit Höhlen in Verbindung gebracht worden; sie liegen, nach dieser Meinung, über Höhlen und unterirdischen Flussläufen. Mit dem unterirdischen Laufe der Punkwa im mährischen Devongebiete soll eine Dolinenreihe auf der Oberfläche correspondieren.⁷⁾ In vielen Karstgebieten sind solche linear angeordnete Dolinen mit Höhlen in Verbindung gebracht worden,⁸⁾ der Zusammenhang aber zwischen Höhlen und Dolinen ist nirgends durch entsprechende Messungen erwiesen. Wo solche Untersuchungen angestellt wurden, gelangte man zu einem anderen oder entgegengesetzten Resultate. Durch correspondierende Messungen, welche in den Höhlen und über denselben in Krain angestellt wurden, ist constatirt, dass keine Dolinenreihen direct über bekannten Höhlen vorkommen; es be-

¹⁾ De la Noë et de Margerie. Les formes du terrain, p. 156. ²⁾ Reyer, »Studien über das Karstrelief«. Aus d. Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch., 1881, p. 4. ³⁾ Diener, »Jhrb. d. geol. R.-A.«, XXXIV, 1884, p. 659. ⁴⁾ Cvijić, »Ann. geol. de la Pén insule Balk.« 1893. T. V. ⁵⁾ G ü m b e l, »Geogn. Beschreibung der fränkischen Alb (Frankenjura), 1891, p. 47. ⁶⁾ Abich, »Über einen in der Nähe von Toula stattgefundenen Erdfall,« 1854, p. 267. Aus den Mélanges physiques et chimiques. ⁷⁾ Fruwirth, »Zeitschrift d. deutschen u. österr. Alpenvereines, 1881, p. 127. ⁸⁾ Hassert im montenegrinischen Karste (Reise durch Montenegro, 1893; Schmidt (Op. cit) für Dolinen auf der Insel Ösel, Owen (Third Rep. of the geol. Survey of Kentucky 1857, p. 68) für jene in der Fayette Country in Kentucky u. a.

finden sich nur stellenweise, und zwar abseits, neben den Höhlen, vereinzelte Dolinen. ¹⁾ Zu ähnlichem Resultate gelangte auch Martel durch Untersuchung dolinenähnlicher Gebilde (fosses), welche sich zwischen dem Ponore und der Quelle der Touvre in Charente befinden. ²⁾ Wir halten doch die Möglichkeit für nicht ausgeschlossen, dass einzelne dieser Dolinenreihen sich über den Höhlen befinden; solche Fälle aber bleiben erst zu erweisen, wie wir oben erörterten.

D. Das Verhältnis der Dolinen zu den geologischen Orgeln.

In die Oberfläche des Kalksteins mancher Länder senken sich vielfach Verwitterungstaschen, welche geologische Orgeln, sand und gravel pipes, seltener auch entonnoirs, puits naturels oder native wells und poches d'érosion genannt werden.

In Unterkrain hat Lipold³⁾ Dolinen beobachtet, welche nackt sind, also keinen Zersetzungslehm enthalten, dann solche, welche bis zu $\frac{1}{3}$ ihrer Tiefe mit sandigem Lehm ausgefüllt sind und zuletzt Einsenkungen der Kalkoberfläche, welche vollkommen mit Zersetzungslehm erfüllt und infolge dessen nur in Steinbrüchen sichtbar sind. Die letztgenannten Gebilde besitzen das Aussehen einer trichterförmigen aber gänzlich zugeschütteten Doline, im Durchschnitte aber erscheint ihre Kalksteinunterlage zerrissen und zackig. Sie sind nicht nur mit Zersetzungslehm vollkommen ausgefüllt, sondern auch mit einer mächtigen Decke desselben bedeckt; an der Oberfläche sind also diese Gebilde nicht sichtbar. In allen ihren Charakteren stimmen sie mit den geologischen Orgeln überein. ⁴⁾

Brunnen- und trichterförmige Gebilde, welche Lyell aus der Kreide von Norwich erwähnt, gehören zweifellos zu denselben Gebilden, wie die vorerwähnten. Die Kreide von Norwich ist bedeckt durch vom Eisen stark gefärbte Schichten von Kies, Sand und Lehm, an mehreren Stellen ist dieselbe von senkrechten oder geneigten Vertiefungen, welche die Form umgekehrter Kegel besitzen, durchzogen. Diese geologischen Orgeln sind mit denselben Stoffen ausgefüllt, welche die Kreide bedecken, aber nie findet man in denselben Konchylien, Kreidestücke und andere kalkige Stoffe. Die Kreide selbst ist von den geologischen Orgeln an auf eine Strecke von mehreren Decimetern bis anderthalb Meter weich, feucht und von etwas feinem Sande und Thon gefärbt. ⁵⁾

Es liegt kein Grund vor, die »geologischen Orgeln«, welche aus der Umgebung von Burtscheid und vom Petersberg längst bekannt sind, von den vorerwähnten Bildungen auszuscheiden. Die geologischen Orgeln im devonischen Kalke von Burtscheid sind zwar cylindrisch, setzen sich aber nicht vollkommen senkrecht fort und zeigen viele »Irregularitäten und Biegungen«; die vom Petersberg⁶⁾ zeigen häufig auch Erweiterungen und Zusammenziehungen an einzelnen Stellen, sie sind alle niemals leer, immer mit Lehm des Plateau aus-

¹⁾ v. Hauer, Die Arbeiten des Karst-Comités im Jahre 1885. »Österr. Touristen-Ztg.«, 1886, Nr. 7, p. 73. ²⁾ Martel, »Explorations souterraines.« Société de géographie. Comptes Rendus 1892, Nr. 8, p. 180. ³⁾ Lipold, »Die eisensteinführenden Diluviallehme in Unterkrain.« Jahrb. d. geol. R.-A. 1858, p. 246 u. 247. ⁴⁾ Siehe auch die Abbildung aus dem Steinbruche zu Gradatz. Lipold, l. c. p. 246. ⁵⁾ Lyell, »Elem. d. Geol.«, deutsch von Cotta I, p. 112; »Über die Röhren in der Kreide von Norwich.« Neues Jahrb. 1843, p. 234; Van den Broeck, »Memoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels«, 1881. Die größten erreichen 3,50 m Durchmesser, 18 m Tiefe. ⁶⁾ Mathieu und Gillet-Laumont, Journal des mines V. 34. — Gilbert's Annalen Bd. XLVI. 1814, S. 402.

gefüllt. ¹⁾ Durch das Auslaufen der geologischen Orgeln entstehen trichterförmige Einsenkungen an der Oberfläche, welche oft ganz und gar das Aussehen von eingestürzten Schächten gewinnen. ²⁾ Sie sind von vornherein von Gillet-Laumont mit den von Omalius d'Halloy zuerst eingehender gewürdigten Karsttrichtern verglichen worden.

Die »puits naturels« in der Senonkreide von Brabant haben brunnen- und trichterförmige Gestalten, sind von einem braunen, eisenhaltigen Lehm ausgekleidet und mit Sand unbestimmten Alters ausgefüllt; von dem letzten Gebilde ist die Kreide bedeckt. ³⁾ Ebenso sind die geologischen Orgeln der Kreide des Cambresis in Belgien von Sanden und Thonen mit Feuersteinen erfüllt und überlagert. ⁴⁾ Es können vielleicht in die geologischen Orgeln auch jene, ihrer Form nach bizarren Gebilde eingereiht werden, welche in der Kreide von Meudon und Bugival im Pariser Becken auftreten. ⁵⁾

Die »vallées d'effondrements« in den Karbonkalken Belgiens stellen größere Einsenkungen in der Kalkoberfläche dar, welche entweder im Kalksteine oder an der Grenze zwischen demselben und dem Kohlschiefer vorkommen und mit Sand und plastischem Thone (argile plastique) vollständig ausgefüllt sind. Das lose Material hat sich in die entstehenden Vertiefungen nachgesenkt, wesshalb diese Gebilde, welche wahrscheinlich auch größere Dimensionen erreichen, vallées d'effondrement genannt werden. ⁶⁾ Gegenüber den normalen geologischen Orgeln stehen sie in jenem Verhältnisse, wie die kleinen, typischen Dolinen zu den großen.

Die geologischen Orgeln (puits naturels) im Grobkalke des Pariser Beckens sind mit Zersetzungslehm ausgefüllt. ⁷⁾

Eingehend hat sich Prestwich mit den sand und gravel pipes der Umgebung von London und Canterbury befasst. Dieselben haben eine trichterförmige Gestalt mit einer Tiefe von 6, 10 bis 20 m und einem mittleren Durchmesser, welcher $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{10}$ der Tiefe beträgt; es kommen also auch brunnenförmige Formen unter denselben vor. Sie sind in der Kreide eingesenkt und mit eocänem Sand und Thon, in Norfolk mit neogenem Crag ausgefüllt; die Feuersteine als Überreste der aufgelösten Kreide kommen oft in ihnen vor. Echte Gerölle befinden sich nirgends in den pipes.

Die Landschaft zwischen Feversham und Canterbury besteht aus Kreide, welche von eocänem Sand und Thon überlagert ist; die sand pipes wurden unter diesem losen Material gebildet. Es ist von Interesse, dass sich in diesem Gebiete auch swallow-holes (echte Dolinen) befinden, in welche sich einige Schlundbäche verlieren. ⁸⁾

¹⁾ Nöggerath, »Über d. sog. natürl. Schächte od. geol. Orgeln in versch. Kalkstein-Bildungen.« Neues Jahrb. für Mineralogie 1854, p. 527. Nöggerath identificiert selbst seine geol. Orgeln mit den Gebilden, welche Lyell beschrieben hat. (Neues Jahrb. 1848, p. 554.) ²⁾ Nöggerath, l. c. p. 530; Breda et Hees. Annales des sciences naturelles 1829, XVII, p. 446—457. ³⁾ F. Van Horen, »Sur l'existence des puits naturels dans la craie senonienne du Brabant.« Bull. Acad. Royale des sciences de Belgique. 2 ser. XXX. 1870, p. 37. Van den Broeck, »Les phénomènes d'altération,« p. 124. ⁴⁾ Gosselet, Bull. de la soc. belge de Géologie, 1889. ⁵⁾ Hébert, »Observations sur l'argile plastique.« Bull. de la Soc. géol. de France 1854, p. 424. ⁶⁾ Van den Broeck et A. Rutot, »Bull. de la Soc. belge de géol.« T. II. 1888. p. 11 u. 21. ⁷⁾ Van den Broeck, »Les phénomènes d'altération des dépôts superficiels.« p. 127. ⁸⁾ Prestwich »On some Swallow Holes on the Chalk Hills near Canterbury.« The Quaterly Journal 1854, p. 222. — »On the Origin of the Sand and gravel Pipes in the Chalk of the London Tertiary District.« Quaterly Journal 1854, p. 241. — Unter demselben Titel in Quaterly Journal 1855, p. 64. — Trimmer, »On Pipes and Furrows in Calcareous and Non-calcareous Strata.« Quaterly Journal geol. Soc. 1854, p. 231.

Die Gebilde, welche Penck als geologische Orgeln bezeichnet, sind kleine Vertiefungen im Kalksteine mit einer mittleren Tiefe von 2—4 *m* und einem Durchmesser, welcher bis 1.5 *m* beträgt. Viele endigen nach unten spitz oder sie verzweigen und verästeln sich. Sie sind mit einem zähen Lehm ausgekleidet, enthalten an ihrem Boden Bruchstücke von zerfressenem Kalkstein, während zahlreiche, völlig unversehrte Feuersteine in einigen liegen. Die Oberfläche des Muschelkalkes von Rüdersdorf bei Berlin zeigt unter dem Geschiebelehm eine große Anzahl solcher Vertiefungen, welche mit Lehm ausgefüllt sind. Gleiches gilt von den Skorstenen (Schornsteine) in der Kreide von Faxöehügel auf Seeland, welche bis 4 *m* tief sind; in der Kreide sind auch jene geologischen Orgeln bei Limhamn und Annertop in Schonen, bei Lägerndorf, Lüneburg u. s. w.; bei Lägerndorf sind einige so dicht nebeneinander, dass sie nur durch eine wenig über 1 *dm* starke Wand von einander getrennt sind.¹⁾ Die Oberfläche des Zechsteines in Sachsen zeigt diese merkwürdigen, sackförmigen Einstülpungen, die unten mit einer zähen, schwarzbraunen Masse erfüllt sind; die hier den Zechstein überlagernden bunten Letten sind in die entstandenen Höhlungen gesunken.²⁾

Die Gegend östlich und südöstlich von Brody in Galizien besteht aus Senonkreide, welche mit einer 0.5—1 *m* mächtigen Decke von Sand überlagert ist; in der Kreide kommen geologische Orgeln vor, welche mit rostbraunem, oft eine lettige Beschaffenheit zeigendem Sande erfüllt sind.³⁾

Dieselben sand pipes wie in der Umgebung von London kommen auch in Korallenkalken Süd-Australiens vor. Sie sind kleine Gebilde trichterförmiger Form, mit Lehm ausgekleidet, mit Sand ausgefüllt. In demselben Gebiete sind auch swallow holes verbreitet, d. h. echte Dolinen ohne Lehm und Sand; ebenso kommen hier schlottförmige native wells, welche mit Höhlen und Grundwasser in Verbindung stehen, vor.

Die geologischen Orgeln haben in der Regel eine trichterförmige Form, welche meist zerfranzt und verästelt erscheint, stellenweise tritt auch eine brunnenförmige Form auf und solche geologische Orgeln werden oft puits naturels genannt. In ein und demselben Gebiete kommen oft beide Formen vor. Sie besitzen kleine Dimensionen: durchschnittlich zeigen sie einen Durchmesser von 2 *m* bei einer Tiefe von 1—4 *m*; stellenweise aber erreichen sie einen Durchmesser von 20 *m* und eine Tiefe von 7—8 *m*.

Die geologischen Orgeln in der Kreide von Norwich, dann einige in der Umgebung von London sind mit Feuersteine enthaltendem Zersetzungslehm erfüllt; dieselbe Ausfüllung zeigen auch die geologischen Orgeln in der Senonkreide von Norddeutschland; diejenigen in den mergeligen Faxökalken der obersten Kreide, welche vorzüglich aus Korallenkalke und Korallenschutt zusammengesetzt sind, erscheinen mit Zersetzungslehm ausgefüllt. Die bryozoöenreichen Kalktuffe, dann die cretacischen Sande und Mergel von Maastricht liefern Zersetzungsproducte zur Ausfüllung der geologischen Orgeln.

¹⁾ Penck, »Die Geschiebformation Norddeutschlands.« Zeitschr. d. deutschen geol. Gesellsch. XXXI. 1879. p. 132. Bekannt ist, dass diese geologischen Orgeln mehrfach als Riesentöpfe angesprochen sind. ²⁾ Gutbier, »Die Versteinerungen d. Zechsteingeb. u. Rothliegenden.« II. 1849. p. 4. ³⁾ Uhlig, »Jahrb. d. geol. R.-A.« 1884. H. 1.

Von weit größerer Bedeutung für das Ausfüllungsmaterial der geologischen Orgeln sind tertiäre und diluviale Gebilde, welche die Kreide überlagern. Die Kreide-Mulde von London ist mit eocänen Thonen und Sanden oder mit pliocäнем Crag überlagert, durch welche auch sand- und gravel pipes vollkommen ausgefüllt sind; ähnliche Verhältnisse wiederholen sich in Belgien, Galizien u. s. w., wo die geologischen Orgeln ebenso mit Sanden und Thonen erfüllt sind. Die geologischen Orgeln der baltischen Kreide sind mit Geschiebelehm ausgefüllt.

Diese Gebilde kommen also auf der Landoberfläche nicht zum Ausdruck, da sie immer entweder mit Zersetzungslehm oder mit losen permeablen, tertiären und diluvialen Gebilden vollkommen ausgefüllt und bedeckt sind. Alle diese Ausfüllungsmassen sind durch Mangel an kalkhaltigen Bestandtheilen ausgezeichnet, welche bei der Auflösung der Kreide und bei der Bildung der Vertiefungen verloren gegangen sind. Die fremden, losen Gebilde, welche oft die Ausfüllung der geologischen Orgeln bilden, haben sich in eine solche entstehende oder schon entstandene Vertiefung nachgesenkt.

Die geologischen Orgeln kommen in der Regel in Kalksteinen, insbesondere in der Senonkreide der nördlichen Gebiete Europas vor. Die Überlagerung der Kreide durch sandige und thonige Gebilde jüngerer Formationen bildet auch ein Merkmal für die Gebiete, in welchen die geologischen Orgeln auftreten. Zur Ausbildung derselben sind also entweder thonige und mergelige Kalksteine, oder auch die Überlagerung derselben durch Sande, Thone und Geschiebelehm als Vorbedingung zu betrachten. Solche Verhältnisse treffen wir nur in Nord- und Mitteleuropa, wo die Ausbildung der Kreide und Tertiärformation von den südlichen Gebieten Europa's abweicht; in den letzteren ist die Kreide hauptsächlich durch harte, zum Theil krystallinische Caprotinen- und Rudistenkalksteine vertreten und das Tertiär beginnt mit ebensolchen Nummuliten-Kalksteinen. Es sind keine losen Gebilde über den Kalken in diesen südlichen Gebieten vorhanden, die Kalksteine liefern wenig Zersetzungslehme, es fehlen also die Bedingungen zur Ausbildung der geologischen Orgeln. An Stelle derselben treten im Süden die Dolinen auf.

Der einzige wesentliche Unterschied zwischen Dolinen und geologischen Orgeln ist der, dass die ersteren Formen der Landoberfläche, die letzteren bloß Formen der Kalkoberfläche sind. Unwesentlich sind kleine Abweichungen in der Form und Größe, welche die geologischen Orgeln gegenüber den Dolinen zeigen. Alle diese Unterschiede verschwinden, wenn man die Übergänge betrachtet, welche zwischen Dolinen und geologischen Orgeln bestehen. Die ersteren sind oft dermaßen mit Zersetzungslehm erfüllt, dass die charakteristische Dolinenform kaum mehr zum Vorschein kommt; sie sind kaum mehr Oberflächenformen, wie viele Dolinen im mährischen Devongebiete, im Schwäbischen Jura u. a. Die Beziehungen zwischen ihnen werden noch enger, wenn man bedenkt, dass selbst im Krainer Karste geologische Orgeln constatirt worden sind, umgekehrt aber in Gebieten der nördlichen Kreide stellenweise echte Dolinen vorkommen, wie in der Umgebung von Canterbury in England. In Süd-Australien finden sich, nach den erwähnten Beobachtungen von Woods, echte Dolinen, Schlote und geologische Orgeln nicht weit von einander entfernt. Ihre kleineren Dimensionen, welche meist die der kleinsten Dolinen im Karste nicht

übertreffen, verdanken die geologischen Orgeln dem Umstande, dass sie unter einer Decke von losem Material oder Zersetzungslehm gebildet worden sind; überdies ist ein thoniger Kalkstein in geringerem Grade lösbar und deshalb zur Entstehung großer Vertiefungen nicht geeignet. Morphologisch und genetisch sind geologische Orgeln nur durch die chemische Beschaffenheit des Kalksteines und durch Überlagerung desselben mit fremden Gebilden oder mächtigen Zersetzungslehm modifizierte Dolinen.¹⁾ Sie sind aber keine Oberflächenformen, keine echte Dolinen und die Gebiete, in welchen sie erscheinen, sind keine Karstgebiete; ihnen fehlt die Plastik und die Permeabilität der letzteren.

E. Bildung der Dolinen.

I. Ältere Ansichten über die Bildung der Dolinen. Die meisten Beobachter, welche sich mit dem Studium des typischen Karstes in Krain und im westlichen Theile der Balkanhalbinsel befassten wie Schmidl, der beste ältere Kenner der betreffenden Gebiete, dann Stache und Tietze, welche die geologische Aufnahme der österreichischen und montenegrinischen Karstgebiete ausgeführt haben, waren der Ansicht, dass die Dolinen durch Deckenbrüche der unterirdischen Hohlräume entstehen. Tietze hat in seinen Arbeiten Beobachtungen gesammelt, welche für die Einsturztheorie sprechen und die Beweise zu widerlegen versucht, welche in der österreichischen Literatur für die Bildung der Dolinen durch subaerische Erosion vorgebracht wurden.²⁾ Reyer hat speciell jene Fälle erklärt, wo reihenförmig angeordnete Dolinen an Verwerfungen gebunden sind.³⁾ Nach seiner Ansicht sind die Weitungen, welche stellenweise an einem Bruche auftreten, die Ursachen der Dolinenbildung.

Im Gegensatze zu diesen im Wesentlichen übereinstimmenden Anschauungen, steht die Ansicht, zu der v. Mojsisovics⁴⁾ gelegentlich seiner geologischen Aufnahme in West-Bosnien gelangte. Er unterscheidet zwischen Dolinen und Karstrichtern und will letztere nicht zu den eigentlichen Karsterscheinungen rechnen. Die Merkmale, durch welche sich diese zwei Gebilde unterscheiden sollen, sind nicht ange-

¹⁾ Nach Gillet-Laumont (Gilberts Annalen XLVI. 1814, p. 410) hat die Bildung der geologischen Orgeln von Maestricht und der puits naturels des Pariser Grobkalkes übereinstimmend mit der Dolinenbildung im Karste durch Infiltration von Wasser oder durch Ausspülen stattgefunden. A. Boué (Turquie d'Europe t. II. p. 266.) bezeichnet Dolinen in der westlichen Türkei mit dem Namen puits naturels, welcher bekanntlich für die Bildungen im Grobkalke von Paris üblich war. v. Mojsisovics hat später klar ausgesprochen, dass die geologischen Orgeln und Dolinen dieselben Gebilde sind: »Als ich beobachtete, wie innig die Verbreitung der Trichter mit dem Auftreten der terra rossa oder deren Derivate zusammenhängt, so setzt sich in mir die Ansicht fest, dass die genannten Karstrichter in die Kategorie der »geologischen Orgeln,« mit welchen sie ja auch die äußere Gestalt gemein haben, gehören.« (v. Mojsisovics, »Grundlinien der Geologie von Bosnien-Hercegovina.« p. 212.) Dagegen polemisierte Tietze und behauptete, dass die geologischen Orgeln »weder der Gestalt noch der von Noeggerath behaupteten Entstehung nach Dolinen seien.« (»Zur Geol. d. Karsterscheinungen.« Jahrb. geol. R.-A. XXX. 1860. p. 743.) Der Anschauung von v. Mojsisovics schloss sich vollinhaltlich Diener an. (Libanon 1886. p. 224.) Van der Broeck (»L'infiltration des eaux météoriques.« Bruxelles 1881.) hat die puits naturels und die geologischen Orgeln ihrer Entstehung nach mit den poches d'érosion der eocenen Sande von Brüssel und des Diluvium rouge identifiziert. ²⁾ Tietze, »Zur Geol. d. Karsterscheinungen.« Jhrb. d. geol. R.-A. 1880 XXX. ³⁾ Reyer, »Studien über das Karst-Relief.« Mittheil. d. k. k. geogr. Gesellschaft 1881. ⁴⁾ v. Mojsisovics, Tietze und Bittner, Geologie von Bosnien und Hercegovina p. 226.

geben. Es ist aber wahrscheinlich, dass die Karsttrichter v. Mojsisovics mit unseren kleinen, echten Dolinen identisch sind, welche jedes typische Karstterrain charakterisieren. Nach v. Mojsisovics waren die Karsttrichter die Hauptangriffspunkte der chemischen, subaerischen Auflösung des Kalksteines, weshalb sich auch die unlösliche Asche des Kalksteines, die terra rossa, so innig mit denselben vergesellschaftet findet. Sie sind also nach Mojsisovics eine Erosionsform des reinen Kalkes und gehören nach ihm in die Kategorie der geologischen Orgeln. Diener schließt sich dieser Ansicht vollständig an und stellt zahlreiche Gründe gegen die Einsturztheorie zusammen.¹⁾ Bei Deckeneinbrüchen im festen Gesteine sollen sich keine runden, trichterförmigen Formen, sondern unregelmäßige und eckige bilden; die ersten Formen sollen ausschließlich beim Einsturze in weichem Mergel, und losem Sande entstehen, die trichterförmige Gestalt der Pingenzüge solle nur in weichen mergeligen Gesteinen beobachtet worden sein. In den illyrischen Karstlandschaften sollen zwar partielle Einstürze vorkommen, durch dieselben aber nicht Dolinen gebildet werden. Die Modellierung und Ausgestaltung durch die Erosion könnte Einstürze in Dolinen verwandeln, jedoch müsste man in diesem Falle weit mehr Übergänge zwischen kreisrunden Dolinen und solchen von eckiger Form in der Natur beobachten. Ähnliche Erwägungen theoretischer Natur, welche auch meist von v. Mojsisovics angeführt sind, wurden von Tietze, Fruwirth und anderen Vertretern der Einsturztheorie auch als Beweise für letzere vorgebracht. Von großer Bedeutung sind dagegen die Beobachtungen von v. Mojsisovics und Diener an aufgeschlossenen Dolinen, welche im Capitel über das Verhältnis der Dolinen und Höhlen angeführt wurden.

Durch die verdienstvollen neueren Untersuchungen in Krain und in den Causses der Cevennen ist die Kenntnis des Karstphänomens wesentlich gefördert worden. Die Beobachter in Krain und in den Causses der Cevennen gelangten zu verschiedenen Ansichten über die Bildung der Dolinen. Kraus und Putick, unter deren Leitung die Untersuchungen in Krain geführt wurden, sind entschiedene Anhänger der Einsturztheorie. Sie glauben, dass durch die Arbeiten in Krain »alle Zweifel gelöst sind, und die alte Einsturztheorie, allerdings etwas modificiert, wiederhergestellt wurde.«²⁾ Die Ursache der Karstsenkungen ist nach Kraus Einsturz in Folge von Unterschwemmung; der Unterschied zwischen Doline und Kesselthal besteht nur in der Ausdehnung der verschiedenen Senkungsfelder.³⁾ Als Vorbedingung für die Dolinenbildung werden Höhlen angesehen. Breche nun die Decke einer Höhle vollends ein, so entsteht an der Oberfläche eine Bodensenkung mit Steilrändern. Je nach dem Verhältnisse der Deckenmasse zur Größe des Höhlenraumes müssten diese Einbrüche entweder offene Naturschachte werden, oder wenn die Menge des Bruchmaterials größer ist als der Raum, in den sie hinabstürzt, so muss nicht nur der Höhlengang, sondern auch ein Theil des Naturschachtes ausgefüllt werden, und die neugebildete Doline hat dann weder eine Verbindung mit der Höhle noch eine besondere Tiefe. Die oberirdische Erosion bildet keine Dolinen,

¹⁾ Diener, »Libanon« p. 220 u. w. ²⁾ Kraus, Verhandlungen d. geol. R.-A. 1887 p. 55. ³⁾ Kraus, »Die Entwässerungsarbeiten in den Kesselthälern von Krain«, Sep.-Abdruck aus der Wochenschr. d. österr. Ingenieuren- und Architekten-Vereins 1888 Nr. 13

sie hat aber einen Einfluss auf die Umwandlung der Steilränder in Böschungen und auf die Erweiterung der Schlote.¹⁾

Zu ganz abweichenden Ansichten gelangte Martel²⁾ durch seine Untersuchungen in den Causses der Cevennen. Die kleinen Dolinen stehen nicht in Verbindung mit den Höhlen. Von den ungefähr 40 untersuchten Avens und Abîmes (Light holes), führen nur sieben zu weitverzweigten Höhlengängen und unterirdischen Flussläufen und von diesen ist bloß ein einziger, der Abîme von Padirac, höchst wahrscheinlich durch Einsturz entstanden. »En réalité les avens sont surtout des fractures préexistantes du sol que les eaux sauvages superficielles ont élargie par voie d' érosion.«³⁾

Stehen also die in Krain und in den Causses gewonnenen Ansichten einander entgegen, so gilt gleiches nicht von den Beobachtungen; nur die Schlüsse, welche aus denselben gezogen wurden, sind verschieden. Nach der Darstellung von Kraus müsste jede Doline entweder direct zu einer Höhle führen oder erst durch die Spalten und Canäle in der durch Deckenbrüche entstandenen Trümmerhalde.⁴⁾ Nur eine geringe Zahl von engen Schloten, wie die Trebičgrotte machen davon eine Ausnahme. Diese Ansicht führt sich im wesentlichen darauf zurück, dass sich die Untersuchungen, welche zum Zwecke der Entwässerung der Kesselthäler von Krain durchgeführt wurden, wie es ja in der Art ihrer Aufgabe lag, nur auf Dolinen vom Typus der Trebičgrotte, der Avens und Light Holes erstreckten. Die zahlreichen kleinen, echten Dolinen wurden dabei nicht in Betracht gezogen; trotzdem schloss man, dass alle Dolinen (mit Ausnahme vom Trebičtypus) durch Einsturz entstanden sind. Aber auch dafür wird nicht der Beweis erbracht, warum diejenigen Dolinen, welche zu den Höhlen führen, ihre Entstehung einem Einsturze verdanken müssen. Das wäre umsomehr zu wünschen gewesen, als Martel bei eingehender Prüfung der zu Höhlen führenden Dolinen zu dem Ergebnisse gelangte, dass die überwiegende Mehrzahl derselben unmöglich durch Einsturz entstanden sein könne.

Es ist eine merkwürdige Thatsache, dass die Mehrzahl der englischen und amerikanischen Beobachter des Karstphänomens zu Ansichten gelangten, welche von der allgemein herrschenden Einsturztheorie abweichen und im wesentlichen mit der allerdings erst später veröffentlichten Annahme von v. Mojsisovics übereinstimmen. Cox constatirt, dass die Dolinen (sink holes) in Indiana mit kleinen Spalten endigen

¹⁾ Kraus, »Über Dolinen«, Verh. d. geol. R.-A. 1887 p. 58; siehe auch die oft citierten Arbeiten von Putick. ²⁾ Martel, »Les Cévennes« p. 362 u. w. ³⁾ Martel, »Sous terre«, Revue de géographie. Decembre 1889 p. 426 — Martel et Launay. Bull. de la Soc. géol. de France XIX 1891 p. 140. ⁴⁾ Die Arbeiten in Krain haben übrigens nicht den Nachweis geliefert, dass auch die untersuchten Dolinen nur auf jene zwei von Kraus angedeutete Arten mit Höhlen in Verbindung stehen. Eine etwas dunkle Stelle eines Mitarbeiters an den Untersuchungen scheint dies zu zeigen. Hrascky hat zahlreiche tiefe steilwandige Dolinen untersucht, ohne zu den Höhlen zu gelangen. (Hrascky, Entwässerungsarbeiten im Ratschnathale. Mittheilungen der Section f. Naturkunde 1889 p. 26. Er hat 30 Schächte untersucht. »Das wurde jedoch außer Zweifel gestellt, dass alle diese Schächte, ob sie nun mit Dolinen im Zusammenhange standen oder nicht, immer als ein Resultat der localen Quellenerosion ohne directen Zusammenhang mit einer wasserführenden Grotte zu erachten sind.«) Auch Putick hat constatirt, dass Dolinen oft mit engen Spalten im festen Gestein endigen. (Die unterirdischen Flussläufe von Innerkrain. Das Flussgebiet der Laibach. Mitth. der k. k. geogr. Gesellsch. 1890, p. 483.)

und erklärt die Bildung derselben durch die Erosion des atmosphärischen Wassers.¹⁾ Auch Woods, welcher sich eingehend mit dem Karstphänomen in Süd-Australien befasst hat, führt selbst die *native wells* (unsere *Light Holes*) auf »simple erosion« zurück, durch welche auch die Verbindung mit Höhlen hergestellt werde.²⁾ Ebenso erklärt Sawkins die in großer Häufigkeit auftretenden Dolinen auf Jamaika durch Auflösung des Kalksteines und Erosion längs Fugen und Spalten in demselben.³⁾ Dies ist auch die Meinung von Middlemiss über die Dolinen von Naini Tal.⁴⁾ — Die Beobachter, welche sich mit dem Studium sowohl der geologischen Orgeln als auch der Dolinen befasst haben, sind beinahe übereinstimmend der Ansicht, dass beide Phänomene durch Auflösung des Kalksteines und subaerische Erosion entstehen. Prestwich, welcher die *sand and gravel pipes* und *swallow-holes* der Umgebung von London und Canterbury untersuchte, erklärt die letzteren folgenderweise:⁵⁾ Das atmosphärische Wasser oder dasjenige der Bäche hat die Tendenz, zum Grundwasser oder zu den tiefsten Thälern zu gelangen. Es wird Fugen und Spalten aufsuchen und durch dieselben versickern oder abfließen; infolge der Auflösung des Kalkes durch Kohlensäure enthaltendes Wasser bilden sich an jenen Punkten die *swallow-holes*. Die *sand and gravel pipes* in der Kreide von London sind nach der Ablagerung der tertiären Sande und Thone und zwar hauptsächlich durch die chemische Erosion des Wassers entstanden; die tertiären Sande haben sich langsam in die entstehenden *pipes* eingesenkt.

Van den Broeck, welcher sich mit dem Studium der *phenomènes d'altération* eingehend befasst hat, führt Dolinen (*entonnoirs*) und geologische Orgeln auf dieselbe Ursache, chemische Errosion, zurück.⁶⁾

2. Thatsachen zur Würdigung der Einsturztheorie. Wir fassen die Ergebnisse unserer früheren Erörterungen in folgendem zusammen:

- a) Die Einstürze, welche in der Literatur als Beweise für die Theorie vorgebracht wurden, beziehen sich entweder sicher auf die Schwemmlanddolinen oder sind so ungenügend beschrieben worden, dass sie sich jeder Beurtheilung entziehen. Es liegt bis jetzt kein einziger sicherer Bericht über einen Fall vor, in welchem eine Felsdoline durch Einsturz entstanden ist.
- b) Die überwiegende Mehrzahl der Dolinen, nämlich typische, schlüssel- und trichterförmige stehen nicht mit den Höhlen in Verbindung. Bei der Erklärung dieser Dolinen ist die Einsturztheorie von vornherein ausgeschlossen.
- c) Wenn auch die Dolinen zu den Höhlen führen, wie die *Light Holes*, die Dolinen vom Trebičtypus und die Mehrzahl der Avens, so sind sie doch nicht ohne weiteres als durch Einsturz entstanden zu erklären. Für die Dolinen vom Trebičtypus ist die Erklärung durch Einsturz unmöglich. Von den durch Martel untersuchten Avens ist nach seiner Meinung keiner durch Einsturz entstanden. Jene Avens, welche aus einer Doline und einer Höhle bestehen, wie die Mehrzahl derselben in Krain und im Triestiner Karste, zeigen an der Verbindungsstelle in der Regel eine so kleine Öffnung, dass

¹⁾ Cox, Fifth. An. Rep. of. the geol. Survey of Jndiana 1874 p. 261. — ²⁾ Woods geol. Observations in South Australia p. 64. — ³⁾ Sawkins, geology of Jamaika p. 137. — ⁴⁾ Geological Sketch of Naini Tal. Rec. Geolog. Survey. India 1890 p. 214. — ⁵⁾ J. Prestwich. On some Swallow Holes on the Chalk Hills near Canterbury. The Quaterly Journal 1854 p. 222. On the Origin of the Sand and gravel Pipes of the London Tertiary District. Ebenda 1854 d. 241. — ⁶⁾ Van den Broeck, Les phénomènes d'altération p. 128.

dieselbe meist erweitert werden musste, um weiter vordringen zu können. Es ist nicht möglich, dass eine 50 m Durchmesser messende Doline, welche oft durch eine nicht einmal 1 m breite Öffnung mit der Höhle verbunden ist, durch Einsturz entstanden ist. Es bleibt nur die geringe Zahl von Light Holes, welche den Eindruck machen, als ob sie durch Einsturz gebildet seien.

- d) Man ist nicht berechtigt, aus dem Vorhandensein von Schuttkegeln und Trümmerhalden in den Höhlen den Schluss zu ziehen, dass über denselben Dolinen liegen. Solche Gebilde in den Höhlen können infolge verschiedener Ursachen entstanden sein, und wenn auch über ihnen, wie nur in zwei Fällen constatiert ist, eine Doline auftritt, so ist dieselbe doch nicht ohne weiteres als durch Einsturz entstanden zu erklären, da man sich auch denken kann, dass jenes Schutt- und Trümmerwerk durch Zusammenschwemmung am Boden der zur Höhle führenden Doline entstand.

Keiner der auf Beobachtung beruhenden Beweise, durch welche die Einsturztheorie unterstützt wurde, ist stichhaltig. Nur dadurch, dass man viele Erscheinungen an den Dolinen im Sinne dieser Theorie gedeutet hat, konnte man zu dem unrichtigen Resultate gelangen und überall die Einstürze als die Ursachen der Dolinenbildung betrachten. Diese absolute Anschauung passt zweifellos für die überwiegende Mehrzahl der Dolinen nicht, trotzdem dass niemand bestreiten kann, dass in einem von Höhlen unterminierten Karstgebiete einzelne Dolinen auch durch Einstürze entstehen können. Solche Fälle aber sind selten, in vielen Karstgebieten äußerst selten.

Neben den directen Beweisen für die Einsturztheorie theilt Tietze eine allgemeine Erwägung zu deren Gunsten mit. Er sagt¹⁾: »Wo sich solche Hohlräume bilden, wie sie thatsächlich im Karste nachgewiesen sind, müssen auch schließlich Einstürze entstehen. Wo aber sollten die Spuren dieser Einstürze an der Oberfläche anders zu suchen sein, als in den Karsttrichtern, oder aber welche andere Oberflächen-Erscheinungen entsprechen dann solchen Einstürzen?« Nach dieser Erwägung wachsen die Höhlen gleichsam nach oben und eine dolinenreiche Gegend hat selbstverständlich auch eine höhlenreiche zur Voraussetzung. Was den Reichthum an Höhlen der Causses der Cevennen und noch einiger Karstgebiete betrifft, weisen wir auf unsere Darlegungen im Capitel über das Verhältniß der Dolinen und Höhlen hin. Der Höhlenreichthum der adriatischen Karstländer ist in der That ein sehr großer. Nach Schmidl²⁾ kommen in der Adelsberger Gegend 2 Quadratmeilen Höhlenflächen auf 6 Quadratmeilen Landoberfläche, sodass ein Drittel des Bodens unterhöhlt wäre und sohin das Auftreten von 40 Dolinen auf 1 km², wie wir es oben feststellten, immerhin noch gegenüber dem angeblichen Höhlenreichthum der Adelsberger Gegend bescheiden zurücktreten würde, da die Dolinen nur ein Zwölftel der Landoberfläche einnehmen. Aber Schmidl's Angabe ist irrig; aus seinen Angaben ergibt sich nur ein Flächeninhalt der Höhlen von 0.002 Quadratmeilen auf sechs Quadratmeilen Landoberfläche, sodass also nur drei Zehntausendstel der Landoberfläche unterhöhlt erscheint. Es würden sohin nur drei Zehntausendstel der Landoberfläche durch Einsturz aller Höhlen in Dolinen verwandelt werden können, während wir etwa ein Zwölftel des Landes, also 270mal mehr, von Dolinen eingenommen sehen. Die schon oben einmal erwähnte

¹⁾ Tietze. Jrb. d. geol. R-A. XXX. 1880 p. 743. ²⁾ Schmidl. Grotten und Höhlen. p. 203.

relative Höhlenarmut widerspricht auf das Entschiedenste der Erwägung Tietzes, und wir glauben dieselbe durch eine andere, weit plausiblere ersetzen zu können.

Durch die Wirkung des Sickerwassers werden bekanntlich im Karste oft in geringen Tiefen weitverzweigte Höhlungen gebildet; diese durch geologische Zeiten thätige Wirkung beginnt direct auf der Landoberfläche und muss also auch hier, wo die Oberflächenwasser versiegen, Formen erzeugen. Da erscheint es nun natürlich, dass am Orte des Versiegens bestimmte Oberflächenformen entstehen und als solche trifft man die Dolinen an, welche gleichsam die Eingänge für das System der unterirdischen Entwässerung darstellen, nämlich die in Fugen auslaufenden Trichter, durch welche sich die Oberflächenwasser in die Tiefe ergießen. Nur wenige jener Fugen erweitern sich durch die Thätigkeit der unterirdischen Gewässer wirklich zu Höhlen. Der Höhlenreichtum dieser Gegend muss daher kleiner sein, als der Dolinenreichtum, was That-sachen, nicht aber der Voraussetzung Tietzes entspricht.

3. Bildung der echten Dolinen. Durch verschiedene Vorgänge, insbesondere durch Abwechselung von Erwärmung und Abkühlung und durch chemische Verwitterung bilden sich im Kalksteine verticale und horizontale Fugen und Klüfte, in welche das Wasser einsickert und welche es, da es direct oder indirect durch seinen Kohlensäuregehalt den Kalk lösen kann, zu Röhren erweitert. Diese in die Tiefe führenden Röhren schlucken das auf die Oberfläche des Kalkes fallende und auf derselben fließende Wasser auf und werden sohin Endpunkte von dessen oberflächlicher, abspülender und erodierender Thätigkeit, sodass alle diese Vorgänge hier aufhören. Während in anderen impermeablen Gebieten durch Abspülung und Erosion eine Abdachung bis zum Meere hin geschaffen wird, endet hier die Abdachung an der entstandenen Schlundfuge. Der Eingang der letzteren wird durch die verschiedenartige Thätigkeit des oberflächlichen Wassers erweitert und trichterförmig ausgestaltet. Das ist die normale Doline. Je reicher nun die Gegend an Verwitterungslehm ist, desto mehr wird der entstandene Trichter ausgefüllt, ja er verschwindet und dann liegt geologische Orgel vor. Das ist nicht die einzige Möglichkeit der Dolinenbildung. Das Wasser vermag den Kalk auch unter einer Bedeckung mit fremdem Material anzugreifen und es kann rings um den Eingang einer Schlundröhre der Kalk gelöst werden; dann sinkt das Hangende nach und so entstehen die geologischen Orgeln mit fremder Ausfüllung, oder, wenn das nachsinkende Material weniger voluminös ist als das gelöste

a) Dolinen mit fremder Ausfüllung. Beide Möglichkeiten dürften sich auch vielfach combinieren, indem eine Doline erst durch oberflächliche Thätigkeit des Wassers angelegt und dann durch Lösung unter der hineingespülten Lehmdecke weiter wächst.

Unsere Beobachtungen an den angeschnittenen Dolinen bei Unterloitsch zeigen, dass die Bildung einer Doline längs Spalten vor sich geht. Die Gehänge dieser Dolinen sind durch eine Verwitterungszone charakterisiert und am Untergrunde der Dolinen erscheint ein Keil von verwittertem Kalkstein; beide Erscheinungen weisen auf die Erweiterung und Vertiefung der Doline, welche durch Auflösung des Kalksteines erfolgt. Nur in diesem Sinne müssen auch jene Beobachtungen gedeutet werden, welche Diener von unterfahrenen Dolinen in Bergwerken mittheilt.

Dieselben Erscheinungen sind auch an den Dolinen und geologischen Orgeln der nördlichen Kalkgebiete beobachtet. Alle Angaben von Lyell über die brunnen- und trichterförmigen geologischen Orgeln von Norwich stimmen mit diesen in Krain und Istrien gemachten vollständig überein (S. 42). Jene Zersetzungszone wurde unten und auf den Gehängen der Dolinen constatirt. Die Kreide selbst ist von den geologischen Orgeln an auf eine Strecke von mehreren Decimeter oft bis anderthalb Meter weich, feucht und von etwas feinem Sande und Thon gefärbt. — Aus den Mittheilungen van den Broecks, der reiche Erfahrungen über Dolinen und geologische Orgeln der nördlichen Kalkgebiete besitzt, entnehmen wir, dass ihre Ausfüllungsproducte weder Kalk noch durch solchen imprägnierte Fossilien enthalten. In der Nähe derselben ist das Gestein »tendre, friable et poreuse; les parois et le fond des puits sont visiblement corrodés, et apparaissent souvent comme desagrégés et décomposés.«¹⁾

Die verschiedenen Dolinenformen sind wahrscheinlich durch das verschiedene Umsichgreifen der Zersetzung bedingt. Die kreisrunden Dolinenformen entstehen in jenem Falle, wenn die Zersetzung längs einer oder mehrerer dicht nebeneinander liegenden Absorptionsspalten vor sich geht. Die Auflösung des Kalksteines schreitet dann vom Centrum zur Peripherie: in der Nähe der Angriffspunkte tritt die größte Volumverminderung ein. Die ovalen Dolinen entstehen dadurch, dass die Auflösung des Kalksteines längs einer Spalte oder von zwei in gewissem Abstände neben einanderliegenden Fugen um sich greift.

In der Schreibkreide und in thonigen Kalksteinen findet keine so starke Auflösung statt, wie in reinen Kalksteinen. Die geologischen Orgeln, welche dort an Stelle der Dolinen auftreten, sind kleinere Gebilde. Bei der Zersetzung der Kreide bleiben unlösbare Lehme und Feuersteine zurück, wodurch die geologischen Orgeln ausgefüllt werden, und weitere Auflösung erschwert wird. Begreiflicher Weise ist dieselbe noch mehr durch das fremde hangende Material vermindert. — In den spröden, reinen Kalksteinen finden sich zahlreiche Angriffspunkte, nämlich verschiedenartige Fugen und Klüfte, es findet längs derselben eine starke verticale Erosion oder eine intensive Auflösung des Kalksteines statt und bleiben dabei unbedeutende Lösungsrückstände, durch welche die Erweiterung und Vertiefung der entstandenen Doline nicht wesentlich beschränkt wird. In solchen Kalksteinen werden oft die Absorptionsspalten und schmale Röhren zu Ponoren erweitert, durch welche die Zersetzungsproducte ihren Weg in die Tiefe finden, eine Erscheinung, welche in den geologischen Orgeln nicht beobachtet wurde. Von der Beschaffenheit des Kalksteines ist also die Häufigkeit und die Ausbildung der Dolinen im größten Maße abhängig. Wahrscheinlich bieten hiezu stark dislocierte Gebiete zahlreichere Angriffspunkte für vertikale Erosion, große Diaklasen oder Brüche ermöglichen die Bildung von verschiedenartigen langen Dolinen.

Die Dolinen treten in größter Häufigkeit vorzüglich auf ebenen oder wenig geneigten Flächen der Karstgelände auf. Steile Böschungen, welche sich der Karrenentwicklung so günstig erweisen, sind selten von Dolinen besetzt. Dieselben sind in ihrer typischen Ausbildung und größter Zahl auf Plateaus beschränkt, wo das atmosphärische Wasser nicht abfließen kann, sondern in die Fugen des Kalksteines versickern muss, wodurch die vertikale Erosion begünstigt wird. Auf steilen

¹⁾ Van den Broeck, »Les phénomènes d'altérations p. 129.«

Böschungen, wenn dieselben nicht zu stark zerklüftet sind, fließt das Wasser oberflächlich ab und erzeugt durch seine subaerische Erosion Karren.

Die Dolinen sind insbesondere in jenen Karstgebieten häufig, wo die Niederschläge auf eine Jahreszeit beschränkt sind. Wenn dieselben gleichmäßig auf die Jahreszeiten vertheilt werden, ist der Boden fortwährend nass und mit Wasser getränkt, es bildet sich in solchen Karstgebieten eine mächtige Verwitterungskruste, welche einer intensiven Entwicklung des Dolinenphänomens hinderlich ist, wie im mährischen oder russischen Karstgebiete. Der adriatische Karst ist durch Herbst-, vorzugsweise Octoberregen charakterisiert, auf den Jonischen Inseln und in Griechenland treten Winterregen auf. Die Verwitterungskruste fehlt hier oder ist nur stellenweise und immer in geringer Mächtigkeit vorhanden, sodass die Entfaltung des Dolinenphänomens durch dieselbe nicht gehindert wird. Für die Dolinenbildung sind auch große Wassermassen von Wichtigkeit, welche in relativ kurzer Zeit in die Spalten versickern und eine intensive und tiefgehende Zersetzung des Kalksteines bewirken.

Die Entfaltung des Dolinenphänomens hängt somit einerseits von den petrographischen und tektonischen Eigenschaften der Karstgebiete und deren Oberflächengestaltung, andererseits von der Menge und Vertheilung der Niederschläge ab. Wenn zwei petrographisch und tektonisch identische Karstgebiete in die Zone der periodischen Regen fallen (das adriatische und griechische Karstgebiet), so ist die Intensität des Dolinenphänomens durch die größere oder kleinere Niederschlagsmenge bedingt.

b) Schneedolinen. Im Hochgebirgskarste der adriatischen Küste sowie auf den Karstplateaus der nördlichen und südlichen Kalkalpen kommen zahlreiche Dolinen vor, welche fast das ganze Jahr hindurch Schnee enthalten. Sie sind Stellen starker Schneeaccumulation. Solche Dolinen sind durch scharfe Firste von einander getrennt, welche oft glatte, durch das schmelzende Wasser erodierte, in der Regel aber durch Karren zerfressene Gehänge zeigen. Alles das weist darauf hin, dass in solchen Dolinen die subaerische, chemische Erosion zweifellos eine größere Bedeutung erlangt, als in den übrigen. Der während der kälteren Zeit angesammelte Schnee schmilzt in einem kurzen Zeitintervalle. Die Auflösung und die vertikale Erosion sind in solchen Dolinen daher intensiv. Es genügen unbedeutende Depressionen im Hochgebirgskarste, um durch die Schneeaccumulation den Anstoß zur Dolinenbildung zu geben. Auch sonst begünstigt die Schneeanhäufung in den Dolinen deren Weiterentwicklung; lange noch, nachdem der Schnee vom Lande hinweggegangen ist, erhält er sich in ihnen als eine stete Quelle des Sickerwassers.

c) Dolinen an der Grenze des Kalksteines und impermeabler Gesteine. Im Capitel über die Böschung wurden jene Dolinen erwähnt, welche sich an der Grenze des Kalksteines und eines quarzreichen Sandsteines im Kučaj-Gebirge Ost-Serbiens befinden. Die Grenze zwischen beiden Gesteinen ist auf einer Länge von ca. 1 km durch viele größere und kleinere trichterförmige Dolinen ausgezeichnet. Ihre südlichen, aus Kalkstein zusammengesetzten Böschungen sind steil und unter denselben liegen Ponore. Die sanften, nördlichen aus Sandstein und Schiefen zusammengesetzten Gehänge sind oft quellreich. Das Wasser fließt über dieselben, erzeugt durch Denudation sanfte Böschungen und verschwindet unter der Steilwand in den Sauglöchern.

Die Form dieser Dolinen ist ein Product der subaerischen Erosion des atmosphärischen Wassers, welche die nördlichen, aus impermeablen Gesteinen zusammengesetzten Böschungen abspült und im Kalksteine durch Auflösung desselben schmale Absorptionsspalten schafft.

d) Nachsinken durch Deckeneinbrüche verursacht. Mit der Aufstellung dieses genetischen Dolinentypus treten wir in den Bereich der Möglichkeiten ein, welche nicht immer durch stricte Beobachtungen unterstützt sein können. — Schneller als durch oberflächliche chemische Erosion bilden sich Dolinen in jenem Falle, wenn die Höhlendecke einstürzt. Solche Einbrüche kommen, wenn auch selten, vor, und zwar meist in wasserführenden Höhlen. Durch sie entstehen entweder offene Schachte (Light holes) oder kleine, schüssel-, trichter- und brunnenförmige Dolinen. Der durch einen solchen Deckeneinbruch entstandene Gesteinsschutt nimmt wegen seines lockeren Gefüges mehr Raum ein, als das ursprüngliche, feste Deckenmaterial. In einer gewissen Höhe muss der Fall eintreten, dass infolge der Volumenvergrößerung der ganze leere Raum derart angefüllt wird, dass ein weiteres Brechen nicht mehr möglich ist, und somit die Tagesoberfläche unbeirrt bleibt. Das Volumen des ursprünglichen Deckenmaterials steht nach Jičinsky zu jenem des Bruchgesteines im Verhältnisse 1 : 1,01. Später tritt das Ineinanderschieben des Ausfüllungsmaterials infolge der darauf drückenden Gesteinssmassen ein. Die Decke wird allmählich nachsinken und es bildet sich dadurch an der Oberfläche eine schüssel- oder trichterförmige Depression. Diese Beobachtungen wurden beim Abbau der Kohlenflötze gemacht.¹⁾ Dolinen, welche der äußeren Form nach mit den echten Dolinen identisch sind, können also auch hie und da durch Einsturz entstanden sein. Diese Fälle dürften aber selten sein. Mir ist nur ein einziges Beispiel bekannt, wo eine brunnenförmige Doline ihre Entstehung einem Einsturz verdankt. Im Kučaj-Gebirge Ost-Serbiens fand ich unweit der Stelle, wo ein aus dem Schiefergebiet kommender Bach am Fuße einer ca. 8 m hohen Kalkwand verschwindet, über seinem unterirdischen Laufe einen Schlot, der sich im Laufe von drei Jahren erweiterte und vertiefte. Wir haben es hier wahrscheinlich mit einem Deckeneinbrüche zu thun, dessen Vertiefung infolge des Wegschaffens des eingesunkenen Materials durch den unterirdischen Bach ermöglicht wird. Es ist nicht ausgeschlossen, dass sich diese Doline im Laufe der Zeit, wenn das ganze oder doch das meiste Schuttmaterial weggeschafft ist, in ein Light hole verwandelt.

4. Die Bildung der Avens, Light holes und Dolinen vom Trebič-typus. Wir fassen die hierauf bezüglichen bereits erörterten Thatsachen in folgendem zusammen:

- a) Die Mehrzahl der Avens sind Dolinen, welche mit kleinen, blindendenden, nahe der Oberfläche gelegenen Höhlen in Verbindung gebracht worden sind. Wenn kleine, trichterförmige Dolinen, welche durch verticale subaerische Erosion entstanden sind, bei ihrem Wachsthum nach unten auf eine Höhle treffen, so wird die Vertiefung schneller vor sich gehen: die Absorptionsspalte wird zu einem Kanal erweitert und die unlösbaren Zersetzungsproducte des Kalksteines bleiben nicht am Boden der Doline sondern werden in die Höhle hineingespült. Infolge dessen ist die Verbindung zwischen Doline und Höhle meist ganz schmal und die Schuttkegel bestehen

¹⁾ Jičinsky, »Über Senkungen und Brüche der Tagesoberfläche infolge des Abbaues von Kohlenflötzen«. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1876, p. 456.

aus eingeschwemmtem Material. Durch den Abbröckelungsprocess wird die Verbindung mit der Zeit erweitert werden, die Schuttkegel enthalten dann auch von den Wänden abgelöste Felsen.

Ein Aven, die Jama na Prevali bei St. Kanzian, erscheint an der Oberfläche als kleines Loch, welches zur Höhle führt. Dieser einzige mir bekannte Fall könnte vielleicht auf folgende Weise erklärt werden. An irgend einer wenig widerstandsfähigen Stelle der Decke gieng eine rasche Abbröckelung vor sich, unterstützt durch die chemische und mechanische Wirkung eindringenden Sickerwassers. Der so entstandene Hohlraum musste die Gestalt eines Kegels annehmen, dessen Spitze, nach oben gewendet, endlich die Erdoberfläche erreichte und dort als schmales Loch erschien.

Theoretisch ist also die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass einzelne Avens auch durch Einstürze entstanden sind.

Jene von Martel untersuchten Avens in den Causses, welche in der Regel eine verwickelte aus Engen und Erweiterungen zusammengesetzte Form zeigen, lassen die große Bedeutung der Gesteinsfugen bei ihrer Bildung erkennen. Einige derselben zeigen Corrosionserscheinungen wie die Riesentöpfe. De Launay und Martel erklären solche Avens durch die Auflösung des Kalksteines längs Diaklasen und durch die Corrosion, welche die von Tagesgewässern mitgeführten Gesteine auf die Wände eines in Bildung begriffenen Aven ausüben.¹⁾

Diese Beobachtungen von Martel dürften den Schlüssel für die genetische Auffassung der meisten Avens liefern, namentlich wenn man erwägt, an wie vielen Stellen fließendes Wasser in die Tiefe stürzt. An solchen Orten, an Ponoren des Karstes, muss selbstverständlich eine verticale mechanische Erosion stattfinden, welche die schmalen vom Sickerwasser erweiterten Fugen zu förmlichen Röhren und Schloten ausspült. Wir werden sehen, wie sich die Schlundlöcher häufig an demselben Flusse verschieben, wie einer die Function des anderen übernimmt, so dass der letztere in seiner hydrographischen Bedeutung erlischt und nunmehr als ein Schlot erscheint.

Es besteht sohin zwischen den gewöhnlichen Dolinen und vielen Avens folgende Analogie. Die ersteren werden durch das aufgeschluckte, abrieselnde Wasser, letztere durch ordentliche Bäche und Flüsse ausgebildet, bei ersteren kommt die chemische, bei den letzteren die mechanische, vertical in die Tiefe wirkende Erosion in Betracht. Jeder solcher Aven setzt die Thätigkeit der Sickerwasser bereits voraus. Dolinen können daher auch in dieser Weise in Avens verwandelt werden, umgekehrt können vom Wasser verlassene Avens durch Abbröckelung in Dolinen verwandelt werden.

- b) In den Dolinen vom Trebičtypus haben wir ein System von verticalen Diaklasen, welche sich von der Oberfläche bis zum Grundwasser oder bis zu den wasserführenden Canälen fortsetzen. Als ihr Abschluss an der Landoberfläche erscheinen kleinere oder größere Dolinen. Durch die chemische und mechanische Wirkung des Sicker-

¹⁾ De Launay et Martel. Note sur quelques questions relatives à la géol. des grottes et des eaux souterraines. Bull. de la Soc. géol. de France 1891, p. 142.

wassers sind Diaklasen zu schmalen Canälen erweitert und durch einfache subaerische Erosion entstand die Doline an der Oberfläche. In vielen Fällen, wie z. B. in der Padriögrötte erscheint die kleine Doline (2—3 m Durchmesser) nur als eine oberflächliche Erweiterung der Spalte, verursacht durch die subaerische Erosion des Sickerwassers.

Die Abbröckelungs- und Ablösungsprozesse wurden in diesen Dolinen oft beobachtet. Sie sind entweder durch das Sickerwasser oder durch die hydrostatische Pression der aufsteigenden Wassermassen verursacht. Im Centrum des Plateau, wo das Grundwasser oder die einzelnen wasserführenden Canäle näher der Oberfläche liegen und die Dolinen vom Trebičtypus keine großen Tiefen zeigen, können dieselben leichter durch Abbröckelungsprozesse in Light holes verwandelt werden.

- c) Die Light holes können also aus den Dolinen vom Trebičtypus durch die Erweiterung der Spalten und Canäle entstehen. Die größte Zahl derselben aber ist höchst wahrscheinlich durch Einsturz entstanden. Der Abîme von Padirac zeigt einen Eingang, welcher im Verhältnisse zum Boden klein ist; die Schichten sind gestört. Am Boden befindet sich eine mächtige Trümmerhalde, welche vom Einsturze herrührt. Die Light hole von Gilbert soll auch, nach der Untersuchung von Gaupillat, durch Einsturz entstanden sein.¹⁾

Durch Deckeneinbrüche entstehen die Light holes dann, wenn die unter denselben liegenden Höhlen von einem Fluss durchflossen sind, welcher das Trümmermaterial fortbringt, so dass sich der Einsturz gleich bis an die Oberfläche fortpflanzen kann; es ist also nicht zufällig, dass die Dolinen dieser Art meist als Fenster der unterirdischen Flussläufe erscheinen. Ein Light hole wird sich durch Einsturz der Höhlendecke auch in jenem Falle bilden; wenn der darunter liegende trockene Höhlenraum große Dimensionen besitzt. Derselbe kann dann nicht vom eingestürzten Material ausgefüllt werden und so entsteht eine offene Verbindung zwischen Doline und Höhle.

Wir fassen nunmehr die Ergebnisse unserer Betrachtungen in tabellarischer Form zusammen und unterscheiden folgende

Morphologische und genetische Dolinentypen:

I. Kleine typische Dolinen, welche mit Spalten endigen.

Morpholog. Typen	Genetische Typen
1. Schüsselförmige. $D > 3h$; Böschung 10—30°; die meist verbreiteten.	1. Die überwiegende Mehrzahl der kleinen Dolinen, durch oberflächliche Erosion an der Mündung von Fugen und Spalten entstanden.
2. Trichterförmige. $D \geq 2h$; Böschung bis 45°. Die Häufigkeit derselben steht im Verhältnissezuderschüsselförmigen wie 1 : 7.	2. Durch Nachsinken der Höhlendecke ent- standene Dolinen. Die morphologischen und genetischen Typen decken sich nicht; die brunnenförmigen Dolinen gehören, ihrer Entstehung nach, in die folgende Gruppe.
3. Brunnenförmige. $D < h$; äußerst selten; a) senkrechte, b) geneigte.	

¹⁾ De Launay et Martel, Op. cit., p. 144.

II. Schlotte oder Dolinen, welche mit Höhlen in Verbindung stehen.

Morpholog. Typen	Genetische Typen
1. Avens: <ul style="list-style-type: none"> a) Zu blind endenden Höhlen führende Dolinen; b) Igues in den Causses. 	1. Kleine, typische Dolinen werden durch Vertiefung mit blind endenden, nahe der Oberfläche liegenden Höhlen in Verbindung gebracht. 2. Verlassene Ponore. 3. Einsturzavens. 4. Durch Abbröckelungsprocess, welcher aus der Höhle nach Außen fortschreitet, erscheint ein Aven an der Oberfläche.
2. Light holes.	1. Vollständige Deckeneinbrüche. 2. Aus den Schloten vom Typus der Trebičgrotte durch Abbröckelung hervorgegangene Light holes.
3. Dolinen vom Typus der Trebičgrotte.	Durch verticale Erosion längs Spalten gebildete Schlotte.

III. Karstflüsse.

Der atmosphärische Niederschlag, sobald er nicht sofort vom Boden aufgeschluckt wird, fließt in kleinen Rinnsalen ab, welche gewöhnlich ihr Wasser an Spalten und Schlundlöcher abgeben, welche sich allenthalben auch in Flussbetten finden; dieselben führen dieses Wasser in die Tiefe, wo es sich in Adern und in einer größeren Tiefe zu unterirdischen Flussläufen sammelt. Trockenheit auf der Oberfläche, Reichthum an Wasser im Innern der Gebirge sind die hydrographischen Eigenthümlichkeiten des Karstes. Das Grundwasser besteht demnach im Karste aus einzelnen Wasseradern, welche aus Spalten und Höhlen an den Gehängen der tief in das Karstgebiet eingeschnittenen Täler oder in Flüssen am Rande desselben als mächtige Quellen erscheinen, welche in Griechenland Kephalaria, in Frankreich, nach einer typischen Quelle dieser Art, sources vaclusiennes genannt werden.¹⁾ Hiernach ergibt sich folgende Eintheilung der Karstflüsse:

1. Schwache Flösschen und Bäche, welche sich auf der Oberfläche eines Karstgebietes oder einer Karstplatte finden. Sie sind meist Schlundflüsse, welche ihr Wasser nach einem kürzeren oder längeren Laufe an die Ponore abgeben. Dieser Wasserverlust erfolgt allmählich, u. zw. häufig dermaßen, dass sich der Fluss von einer bestimmten Stelle des Laufes an regelmäßig verkleinert und man sagen kann: umso

¹⁾ La fontaine de Vaucluse ist eine sehr ergiebige Quelle unweit Avignon unter dem Mont Ventoux. Aus einer brunnenförmigen Vertiefung quillt im Mittel 15—20 m³ Wasser in einer Sekunde hervor. Während der Regenperiode erreicht sie 120 m³ per Sekunde. Ihr Wasser bekommt die Fontaine de Vaucluse vom Mont Ventoux und seiner Umgebung, welche die echten Karstlandschaften mit zahlreichen kleinen Dolinen und Avens darstellen. Es dürfte die Hälfte des Wassers, welche in diesem Karstgebiete fällt, in der Fontaine de Vaucluse zum Vorschein kommen, u. zw. jährlich 500—650 Mill. m³. Von dieser Quelle wird ein Randfluss dieses Karstes, die Sorgues, genährt. (Charles Lentheric, »Le Rhone, histoire d'un fleuve.« II. Paris 1892. p. 209.) Die adriatische Küste zeigt zwei ausgezeichnete Beispiele dieser Art: die Quellen des Timavo bei Duino und der Ombla bei Ragusa.

wasserärmer je näher der Mündung.¹⁾ Das Karstplateau, welches den quarnerischen Golf im Norden umgrenzt, besitzt, mit Ausnahme der Fiumera (Rječina) bei Fiume, nur solche temporäre Bäche und Flüsschen. Die ganze Niederschlagsmenge, welche auf das Plateau und die Abhänge jener Karstgebirge fällt, wird von vielen großen und kleinen Dolinen und von Ponoren aufgeschluckt und erscheint als Quellwasser im quarnerischen Golfe. Einige solche Schlundflüsse, welche nur während der Schneeschmelze Wasser enthalten, finden sich auf der Plateauoberfläche des Kučajgebirges in Ost-Serbien. Zu solchen gehören auch die Bila Voda und Slouper Bach im mährischen Devongebiete. Die Causses der Cevennen sind in dieser Hinsicht besonders lehrreich. Sie stellen dürre Karstplateaus dar, mit einer absoluten Höhe von 800—1000 m, deren Oberfläche durch kleine Dolinen (cloups) und Avens oder Igues ausgezeichnet ist; nur stellenweise treten kleine Schlundflüsse auf, welche sich in den Ponoren (gouffres) verlieren. Ihr Wasser fließt unterirdisch in schmalen Spalten und Fugen (wie im schon erwähnten Mas Raynal), selten in breiten Kanälen und tritt in Form von Quellen in den Flüssen: Tarn, Jonte, Dourbie und Vis, welche in tief eingeschnittenen Thälern zwischen einzelnen Causses fließen.²⁾

Eine besondere Art dieser Oberflächenflüsse des Karstes sind die Schlundflüsse der Poljen, welche neben den erwähnten Charakteren auch die folgenden zeigen: Sie haben ein geringes Gefälle, durchziehen trägen Laufes die Poljen und geben ihr Wasser an die zahlreichen Seitenponore ab. Die Verlegung des Flussbettes ist eine allgemeine Erscheinung solcher Flüsse, deren Bett nur seicht in das lose Material eingeschnitten ist, Altwässer und verlassene Flussarme kommen daher oft in Poljen vor. Besonders vor dem unteren Thalschlusse tritt in Folge des schwachen Gefälles und der geringen Widerstandsfähigkeit der Ufer eine Verästelung der Poljeflüsse in einzelne Arme ein, welche sich in Ponoren verlieren. Der Mušicafluss, welchen ich im Monate April beim mittleren Wasserstande beobachtete, durchfließt in zahlreichen Windungen den nördlichen Theil des Gackopolje in der Hercegovina und gibt unterwegs sein Wasser an die kleineren Seitenponore bei den Orten Muhović, Bušići und Drugovići ab. Der Rest seines Wassers verliert sich im großen Ponore unter dem Berge Videš am südöstlichen Rande des Gackopoljes. Der linke Arm des Gackaflusses im Polje desselben Namens in Südwestkroatien zertheilt sich vor den Svicaer Seen in 10—12 Gerinne, an denen ebenso viele Wasserwerke, Mahlmühlen etc. stehen; das Wasser der einzelnen Gerinne verschwindet in den Ponoren. Auch der rechte Gackaarm verzweigt sich wiederholt in einzelne Arme.³⁾

Die Oberflächen-Flüsse sind das Auffälligste unter den hydrographischen Verhältnissen eines Karstgebietes. Sie werden in Bosnien,

¹⁾ Diese Erscheinung habe ich an allen Flüssen im Kučajgebirge Ostserbiens beobachtet. Auch die Tardoire in Frankreich, welche im Granitgebiete hervorquillt, verliert ihr Wasser nach dem Eintritte in die Kalkzone. Bis zum Eintritte in den Kalkstein war sie ihrem Reichthum an Wasser nach der Charente gleich. Von einer Spalte zur anderen wird sie immer schwächer, verwandelt sich in einen Bach, dann in eine ganz schmale Wasserader und bei Rochefoucauld bleibt nur das trockene felsige Bett, welches lediglich bei außerordentlich heftigem Regen vom Wasser durchflossen wird. Dieselben Charakteren zeigt der Baudiat, ein Zufluss der Tardoire. (Reclus, »Nouvelle géogr. universelle.« II. La France 1877. p. 497.) ²⁾ Martel, »Les eaux souterraines des Causses.« Bull. Soc. géol. de France. XVII. 1889. p. 610; — Annuaire d. C. A. F. 1890. p. 199 und 1889. p. 112, 116. ³⁾ »Die Wassernoth im Karste der kroatischen Militärgrenze.« p. 18.

in der Hercegovina und in Serbien ponornice oder ponikvice (von Ponor—Schlundloch und Ponikva—Saugloch, also Schlundlöcher- und Sauglöcherflüsse), in Indiana und Kentucky in Nord-Amerika Lostriver, auf Jamaika Gully genannt.

2. Wasserreiche, perennierende Flüsse, welche in tief eingeschnittenen Thälern fließen, die häufig Durchbrüche durch das ganze Karstgebiet darstellen und gewöhnlich durch den Kalkstein bis zu einer undurchlässigen Schicht oder bis an das Grundwasser eingesenkt sind. Dazu gesellen sich die Randflüsse eines Karstgebietes, welche in Sackthälern am Abfalle des letzten entspringen. Im Kučaj-gebirge Ostserbiens ist die Mehrzahl der wenig tief eingeschnittenen Täler nur temporär vom Wasser durchflossen; diejenigen Flüsse jedoch, welche ihr Bett durch die permeablen Kaprotinenkalksteine hindurch bis zu den undurchlässigen Sandsteinen und Schiefen vertieft haben, führen das ganze Jahr Wasser. Der Arsafluss in Istrien hat sein Bett so weit vertieft, dass er vom Grundwasser genährt wird. Zahlreiche Quellen brechen aus dem Thalboden hervor und führen dem Flusslaufe Wasser zu. Zu den Randflüssen gehören z. B. die Laibach im Norden, der Timavo und die Ombla bei Ragusa im Süden des adriatischen Karstes.

Die überwiegende Zahl dieser Karstflüsse besitzt keine oberflächlichen Nebenflüsse, statt derselben treten starke Quellen im Bette selbst auf, durch welche die Flüsse vergrößert werden. Eine Folge der vorerwähnten Eigenschaft ist das Fehlen eines nach dem Karstflusse abgedachten Sammelgebietes. Die Flüsse eines undurchlässigen Terrain sind in ihrem oberen Laufe aus vielen Wasseradern zusammengesetzt, welche sich fächerförmig verzweigen; es ist oft schwer zu entscheiden welches derselben die Hauptflussader darstellt. Die Karstflüsse zeigen bis zur Quelle oft einfache Rinnen; sie brechen auf einmal mit bedeutendem Wasserreichtum hervor; oft befinden sich ihre Quellen an der Grenze des Kalksteines und der undurchlässigen Gesteine.

Auf einer geologischen Karte kommt diese Eigenschaft der Karstflüsse, im Gegensatze zu den normalen, deutlich zum Ausdruck. Das Foibathal besitzt in seinem oberen Theile ein weitverzweigtes Flussnetz, solange es sich im Flysch befindet; mit dem Eintritte in die Zone des Rudistenkalksteines wird dasselbe zu einer einfachen Rinne ohne Zufluss. Auch die anderen Karstflüsse auf der südistrischen Platte: die Arsa und die Vale di Bado sind ohne Nebenflüsse.

Bekanntlich erfolgt die Anschwellung der Flüsse in einem undurchlässigen Terrain rasch nach dem Regen oder der Schneeschmelze. Der ganze Niederschlag fließt oberflächlich ab und sammelt sich in Flussrinnen. Im Gegensatze dazu tritt die Inundation in einem Karstterrain später ein. Das atmosphärische Wasser hat einen viel längeren Weg zu machen; dasselbe wird zuerst von Dolinen und Spalten im Kalksteine aufgeschluckt und zum Grundwasser geführt; dieses tritt in den Quellen aus und inundiert das Thal. Die Anschwellung erfolgt also in den Karstgebieten von unten vermittelt der Quellen.

Während ein beträchtlicher Theil des Niederschlages auf undurchlässigem Boden wieder der Verdunstung anheimfällt, wird derselbe auf dem durchlässigen Boden fast ganz aufgeschluckt und in die tief eingeschnittenen Karstthäler oder den Randflüssen zugeführt. Diese trocknen deshalb auch in trockenen Jahren nicht aus, während dies häufig mit gleich großen Gerinnen der Nachbarschaft geschieht. Trockenheit auf den Höhen und Wasserreichtum in den tiefen Thälern sind

daher charakteristische Merkmale der Karstgebiete. So wird berichtet,¹⁾ dass die tiefen Thäler und Randflüsse der Provinz Soria in Spanien auch dann Wasser führen, wenn die Nachbarflüsse ausgetrocknet sind.

Viele Karstflüsse sind durch Wasserfälle ausgezeichnet, welche mit den Karstphänomenen im Zusammenhange stehen.

1. Die sackförmigen Karstthäler besitzen oft kleine Quercascaden, wenn die Höhle, aus welcher der Fluss hervorbricht, höher als der Thalboden liegt; das Wasser stürzt dann über Stufen zu demselben hinab. Die kleinen Cascaden der Ombla bei Ragusa gehören zu diesen Wasserfällen.

2. Durch Ponorcascaden sind insbesondere jene Karstflüsse charakterisiert, welche sich in steilwandige Felsponore stürzen. Durch rückschreitende Erosion vertieft sich das Flussbett in der Nähe des Ponors und erhält hier ein steiles, manchmal treppenförmiges Gefälle. Die Foiba in Istrien besitzt solche schwache Cascaden bei Pisino; typisch sind die Ponorcascaden der Zeta im Nikšićko Polje in Montenegro ausgebildet. Ein Schlundflüsschen, die Salgues, auf dem Causse Gramat in den Cevennen zeigt eine 20 m hohe Cascade, bevor sie sich in Ponor Reveillon ergießt.²⁾

3. Die Travertincascaden, welche mitten im Flussbette auftreten, unterscheiden sich von den vorerwähnten durch ihre größere Höhe; überdies sind dieselben im fortwährenden Wachstum begriffen. Die Karstflüsse enthalten oft große Mengen aufgelösten Kalkbicarbonates; ein kleiner Vorsprung oder ein Querriegel oder irgend welches kleines Hindernis im Flusse bringt das Wasser mit der Luft in Berührung, das Bicarbonat zerfällt, und es kommt Kalktuff zur Ablagerung. Dadurch wächst der Querriegel, es werden größere Massen Kalktuff abgelagert, die Höhe des Wasserfalles wächst.

Die Cascaden der Krka oberhalb Scardona in Dalmatien sind ein typischer Wasserfall dieser Art, welcher von Scardona aus einen prächtigen Anblick bietet. Die Krka stürzt in zwei Armen etwa 42 m hoch herab, und der südsüdöstliche Arm zeigt 17 Travertinstufen, der östliche kleine Cascaden. Zwischen beiden Armen liegt eine Insel, deren Bäume und Gesträuch bis zur Krone in Kalktuff eingewickelt sind. Ebenso sind bei den zahlreichen Mühlen, welche am unteren Ende des Wasserfalles angelegt wurden, große Kalktuffmassen abgelagert. Auch flussaufwärts, oberhalb der Cascaden, sind kleine Inseln von Kalktuff um einige Gewächse herum abgelagert. Oberhalb der Cascaden ist das Flussbett verengt; infolge der Aufstauung des Wassers beim hohen Wasserstande sind an dieser Stelle oft die Gehänge mit Kalktuff inkrustiert. Am Zusammenritte der Krka und der Čikola befindet sich ein Vorsprung, welcher das Flussbett verengt und bei hohem Wasserstande überflutet wird. Derselbe besteht aus Nummuliten-Kalkstein, welcher von einer mächtigen Kalktuffmasse überkrustet wird.

Es scheint, dass auch die Wasserfälle zwischen den bekannten Plitvitzseen in Südwest-Kroatien Travertincascaden sind.³⁾ Der obere Lauf der Korana besteht aus 13 größeren und kleineren Erweiterungen, welche die Plitvitzseen genannt werden. Sie erstrecken sich in einer Länge von 7.5 km und der Höhenunterschied zwischen dem höchsten

¹⁾ René Chudeau, »Le plateau de Soria.« Annales de géographie. Tome premier 1892. p. 297. ²⁾ Martel, »Sous terre.« Annuaire du C. A. F. 1890, p. 197.

³⁾ Fras, »Vollständige Topographie d. Karlstädter Militärgrenze«, 1835, p. 55. — V. Klaič, »Prirodni zemljopis Hrvatske.« (Physikalische Geogr. von Croatien. Zagreb, 1878, p. 264.)

und dem niedrigsten beträgt 150 *m*. Der größte der Seen (Kozjak) besitzt eine Länge von 3 *km* und eine Breite von 613 *m*. Zwischen denselben sind Querriegel, aus Kalktuff zusammengesetzt, über welche das Wasser hinabstürzt. In der Westhälfte der Balkanhalbinsel sind mehrere Travertinwasserfälle bekannt. Bei Vodena in Macedonien stürzt sich die Bistrica in vier großen und zwei kleineren Cascaden über eine Travertinwand, deren Höhe 25 *m* beträgt.¹⁾ Die Plivacascaden bei Jajce in Bosnien gehören auch hierher. In Ost-Serbien (Straža- und Beljanica-gebirge) sind mir einige Travertincascaden bekannt; eine solche von 32 *m* Höhe zeigt das Flüsschen Buk; viele Travertincascaden hat die Perast, deren Rinne lediglich aus Cascaden besteht.

Östlich der Stadt Adalia in Lykien stürzt sich der in zahlreiche Arme getheilte Katarakt der Alten in 13 pittoresken Wasserfällen herab, welche gleichfalls aus Kalktuff bestehen. Wie bei Flüssen, die so viel Material absetzen, nicht anders zu erwarten ist, treten hier von Zeit zu Zeit Verschiebungen der Wasserläufe ein. Dies ist nach Tietze²⁾ die Ursache davon, dass die heutige Mündungsstelle des Kataraktes mit den nach Strabos Angaben westlicher gelegenen Mündungsstellen desselben Flusses nicht coincidiert.

In den Sabinerbergen in Italien, welche aus jurassischen und cretacischen Kalksteinen zusammengesetzt sind, entspringen die Zuflüsse des Tiber: Voluno und Nera; sie liefern im Minimum 170 *m*³ Wasser per Secunde. Der Voluno als kleinerer Fluss (Max. 50 *m*³ per Secunde) bildet an der Mündung in die Nera bei Terni die Cascade delle Marmore, mit einer Höhe von 160 *m*.

Aus den Bergen von Tivoli kommt der Teverone, ebenso ein Zufluss des Tiber. Er verfügt über eine Wasserquantität von im Minimum 15 *m*³. Bei Tivoli bildet er eine Travertincascade von 140 *m* Höhe.³⁾

Travertincascaden sind auch die zwei Wasserfälle des Originflusses in Frankreich, unweit Nantua. Sie sind treppenförmig ausgebildet und der obere, welcher aus zwei durch eine Kalktuffplatte getrennten besteht, zeigt die Höhen von 10 resp. 30 *m*.⁴⁾

Die folgenden Arten von Wasserfällen sind nicht allein auf Karstgebiete beschränkt, kommen aber in denselben sehr oft vor und erscheinen durch die Eigenschaften des Kalksteins modificiert.

4. Wenn der Fluss aus widerstandsfähigen und permeablen Kalksteinen in ein weiches Gestein eintritt, so entstehen an der Grenze derselben infolge der verschiedenen Vertiefung des Flussbettes Wasserfälle, welche durch die rückschreitende Erosion flussaufwärts in die Kalksteinzone verschoben werden. Die dalmatinische Küste bietet ein typisches Beispiel für diese oft vorkommende Art der Wasserfälle. Die Cetina, welche sich bei Almissa ins adriatische Meer ergießt, zeigt zwei Wasserfälle, welche Velika (große) und Mala (kleine) Gubavica genannt werden; der letzterwähnte Wasserfall befindet sich an der Grenze des Nummuliten-Kalksteines und der Flyschmergel. Seine Höhe beträgt 7 *m*. Eine kurze Strecke aufwärts befindet sich im Nummuliten-Kalkstein die Velika Gubavica, deren Höhe 100 *m* beträgt.⁵⁾ Die Flyschgesteine sind vom Nummuliten- und Rudisten-Kalksteine überlagert; die ganze Schichtenserie fällt gegen NO. Der Fluss kommt auch aus Nordosten, so dass derselbe aus der Kalkstein- in die Flyschzone eintritt.

¹⁾ A. Boué, »Europäische Türkei«, II. p. 39. ²⁾ Tietze, »Beiträge zur Geologie von Lykien«. Jahrb. d. geol. R.-A. 1885, p. 298 u. 300. ³⁾ Daubrée, »Les eaux souterraines«, I, p. 355 u. 356. ⁴⁾ Lequentre, »Nantua et ses environs.« Annuaire du C. A. F. 1880, p. 300. ⁵⁾ Klayć, »Phisikalische Geogr. v. Croatien«. Zagreb 1878, p. 264.

5. In Karstgebieten münden häufig die kleinen Flüsse mit Cascaden in die großen (Mündungscascaden). Unweit der Cetinamündung in Dalmatien ergießen sich zwei Bäche mit Wasserfällen in diesen Fluss. Solche Wasserfälle zeigen auch die Zuflüsse des Echernthales bei Hallstadt. Der Plitvitzer Bach stürzt sich in zwei Stufen in die 78 m niedriger gelegene Korana in Südwest-Croatien; in denselben Fluss ergießt sich auch die Slunjčica in vielen Treppen, deren Höhe 18–20 m beträgt.¹⁾

Diese Art von Wasserfällen dürfte auf folgende Weise entstanden sein. Die höher fließenden Flüsse geben ihr Wasser an den porösen Boden ab, während die tiefer fließenden solches aus Quellen erhalten. Die letzten können also ihr Bett rasch vertiefen, die ersten nur sehr langsam; dadurch entstehen an den Mündungsstellen Höhenunterschiede oder Wasserfälle. Durch die Permeabilität des Kalksteines ist die Bildung solcher Wasserfälle im Karste begünstigt, die namentlich bei den temporären Flüssen häufig sind.

IV. Karsthäler.

Die Karsthöhen sind arm an rinnendem Wasser, sie zeigen daher auch eine große Armut an normalen Thälern mit gleichsinnigem Gefälle. Die südistrische Karstplatte besitzt nur drei solche, nämlich das Arsa- und Quietothal und den Canal di Leme. Der adriatische Karst hat nur vier normale größere Thäler: diejenigen der Zrmanja, Krka, Cetina und Narenta. Die Insel Kephallenia, welche 760 km² Oberfläche misst, hat kein größeres normales Thal, sondern nur einige Bachrinnen.

In Folge der Permeabilität des Kalksteines setzt das rinnende Wasser in Karstgebieten aus, die normalen Thäler sind selten oder fehlen vollständig, an ihre Stelle treten die blinden Thäler und verschiedene andere Wannenformen auf. Während in einem permeablen Terrain die Thäler zusammenhängen und das von ihnen durchfurchte Land inselartige Erhebungen bildet, sind in den Karstgebieten die Erhebungen das Zusammenhängende und die Vertiefungen das Isolierte. Im Gegensatze zu den Thallandschaften sind also Karstgebiete Wannenlandschaften.²⁾ In Folgendem betrachten wir die Eigenschaften dieser Karsthäler.

In der Regel zeigen die Karsthäler ein charakteristisches, gemeinsames Querprofil, welches im Gegensatze zu den Querprofilen der Thäler eines undurchlässigen Terrains steht. Die Thalgehänge besitzen eine steile, oft beinahe senkrechte Böschung, welche noch viele zackige und kantige Vorsprünge hat. Die abspülende Thätigkeit des Wassers, welche die sanften Böschungen erzeugt, kommt im Karste nicht zur Geltung. Breitere Thalsohlen sind mit Schutt und Alluvium überkleidet und convex gewölbt. Der Fluss fließt seitlich an einer oder an der anderen Seite der Thalgehänge. Die Thäler eines undurchlässigen Terrains haben ganz andere Querprofile. Die Thalgehänge und die Thalsohle sind meist

¹⁾ Klaić, Op. cit., p. 266 u. 267. ²⁾ Penck, »Die Formen der Landoberfläche.« Verh. d. IX. d. Geographentages in Wien 1891. p. 29.

concau ausgebildet; die letzte ist oft auch eben. Die Mitte der Thalsole enthält gewöhnlich eine Wasserrinne.

Das Längsprofil der Karstthäler ist verschieden; in demselben kommen verschiedene Formen der Karstthäler zum Ausdruck. Es lassen sich nach ihm folgende Formen der Karstthäler feststellen:

- a) **Sackthal.** Ein solches Thal hat einen circusartigen, sackförmigen oberen Thalschluss, mit einem Absturze, unter welchem sich die Flussquellen befinden. Neben dieser morphologischen Eigenschaft sind die Sackthäler auch durch ihre Lage charakterisiert; sie befinden sich immer am Rande der Karstplateaus oder am Abfalle der Karstgebirge und stellen, im Gegensatze zu den folgenden Formen, untere Karstthäler dar. Als Typus dieser Gruppe ist das der Laibach zu betrachten; unter senkrechten Wänden befinden sich bei Verd und Veliki Močivnik die Höhlen, aus welchen die Laibach hervorquillt. Auch die Sorgues bei Avignon in Frankreich fließt in einem Sackthale.

Im adriatischen Karste treten solche sackförmige Täler selbst hart am Meeresstrande auf. Sie sind, wie das Sackthal von Ombla bei Ragusa, von Timavo bei Duino u. a. durch einen sehr hohen Absturz im oberen Thalschlusse ausgezeichnet, unter welchem sich oft mehrere Höhlen befinden.

In den nördlichen und südlichen Kalkalpen kommen einzelne Karstplateaus vor, welche durch tief eingeschnittene, stumpf endigende Täler zerfrant sind. Solche Sackthäler sind das Vrata- und Kermathal, welche tief in das Plateau der Julischen Alpen eindringen und mit Abstürzen endigen, dann das Holthal, die Banšica u. s. w. Das Todte Gebirge und das Steinernes Meer sind auch durch Sackthäler zerfrant. — Die alpinen Kalkmassen zeigen auch sackförmige Täler, welche stufenförmig abgeschlossen sind. Die Stufen sind durch Wasserfälle und Klammen charakterisiert; oberhalb derselben tritt gewöhnlich der obere sackförmige Thalschluss auf. Das Echernthal im Dachsteingebiet stellt ein solches stumpfes Thal dar; es hat den oberen Thalschluss, wo der Fluss aus einer Höhle hervorbricht, vor demselben aber befinden sich einige von Klammen begleitete, stufenförmige Thalschlüsse.

Die Sackthäler besitzen in der Regel in ihrem oberen Thalschlusse eine steile, oft übersteile Böschung; es kommen Abrutschungen vor und das Thal setzt sich nach rückwärts fort. Der Crni Timok in Ostserbien endigt im oberen Thalschlusse mit einer Höhle; durch die Abbröckelung und Abrutschung der Höhlendecke wird der obere Thalschluss nach rückwärts verschoben. Die Wookey Hole in der Grafschaft Somerset in England liegt im oberen Thalschlusse eines schluchtartigen Thales, welches zweifellos teilweise durch Deckenabrutschungen nach rückwärts verschoben ist.¹⁾ Eine ähnliche Art der rückschreitenden Erosion habe ich im Kučajgebirge Ostserbiens beobachtet. Die Flüsse entspringen aus den Höhlen im Kalksteine, welcher von den impermeablen paläozoischen Schiefen unterteuft ist; die Erosion schreitet in impermeablen Schichten schneller fort, sie erzeugt steile Böschungen an der Grenze des Kalksteines und impermeabler Schichten, durch

¹⁾ Boyd. Dawkins, »Höhlen und die Ureinwohner Europas.« p. 28.

welche die ersteren zur Abrutschung gelangen und das Thal verschiebt sich nach rückwärts.

- b) Ein blindes Thal ist morphologisch auch durch einen unteren Thalschluss charakterisiert: die Thalgehänge treffen sich abwärts in einem Halbkreise oder Absturze zusammen. Die blinden Thäler stellen also nach allen Seiten hin abgeschlossene, langgedehnte, gewundene Wannens dar. Im Gegensatz zu den Sackthälern befinden sich die blinden Thäler mitten im Karstgebirge oder auf dem Karstplateau selbst; sie gehören also zu den oberen Karsthälern. Ein blindes Thal kann seiner ganzen Länge nach in einem Karstterrain gelegen sein; die größere Anzahl der blinden Thäler liegt aber in undurchlässigem Gestein und nur der untere Thalschluss und eine Strecke der Thalsohle im Kalksteine. Beide Gruppen der blinden Thäler haben als unteren Thalschluss steile, oft senkrechte Wände, unter denen sich die Höhlen oder Ponore befinden, in welche der Fluss verschwindet. Die ihrer ganzen Länge nach im Karst gelegenen blinden Thäler besitzen den oberen Thalschluss der sackförmigen Thäler; die blinden Thäler der zweiten Gruppe haben einen normalen oberen Thalschluss.

Die Foiba in Istrien fließt bis Mitterburg (Pisino) in einem breitsohligen Flyschthale, dann schneidet dieselbe in die Zone des Rudistenkalksteines ein enges Thal ein, welches an einem ungefähr 80 m hohen Absturze endigt; vor dem Absturze ist das Bett durch steiles Gefälle ausgezeichnet; unter dem Absturze befindet sich eine gegen SO sich erstreckende Höhle, in welche das Wasser verschwindet. Zu dieser Gruppe gehört auch der Poikfluss, welcher in den unteren Partien der Adelsbergergrotte verschwindet, dann die Reka bei St. Kanzian, welche aus dem Flysch in Kalkstein eintritt und in der berühmten St. Kanzianer Rekahöhle sich verliert.

Die ihrer ganzen Länge nach im Karste gelegenen blinden Thäler sind meist kurz, seicht und entbehren des gleichsinnigen Gefälles; zahlreiche Dolinen, Sauglöcher und Ponore senken sich in sie ein. Die Oberfläche jedes Karstgebietes zeigt solche kurze, seichte, gewundene Wannens, welche zeitweilig Schlundflüsse bergen.

- c) In einem engen Verhältnisse zu den blinden Thälern stehen die halbblinden Thäler, welche sich aber doch von den echten blinden Thälern durch ihre morphologischen und hydrographischen Eigenschaften unterscheiden. Die halbblinden Thäler besitzen ebenso einen oberen und unteren Thalschluss, aber der Absturz, welcher den unteren Thalschluss bildet und in welchem sich Höhlen drängen, ist niedrig, so dass derselbe gelegentlich vom aufgestauten Flusswasser überschritten werden kann; über dem Absturze befindet sich in der Fortsetzung des halbblinden Thales ein höher gelegenes, meist nicht tief eingeschnittenes Thal, welches nur beim Hochwasser seine Functionen als Flussbett ausübt. Wir unterscheiden hier also zwei Thalstrecken; eine, welche regelmäßig von einem versiegenden Flusse benutzt wird und ein Hochwasserthal, das nur von den Wassermassen erreicht wird, die nicht durch die Höhlen und Ponore abfließen können. Die überwiegende Mehrzahl der oberen Karsthäler ist von dieser Beschaffenheit.

Im Kučajgebirge Ostserbiens habe ich einige solche halbblinde Thäler beobachtet. Das Thal der Radovanska Reka beginnt in der Zone der paläozoischen Schiefer, in den Caprotinenkalkstein übergehend wird dasselbe cañonartig und schließt mit einem Ponor kleinen Durchmessers; hier wird das Thal durch einen 10—15 m hohen Querriegel abgeschlossen. Über dem Ponor setzt sich im Kalksteine ein trockenes Thal fort, welches Sand und Schotter aus paläozoischen Schiefeln enthält. Beim Hochwasser also ist der Ponor nicht imstande das ganze herbeifließende Wasser zu verschlucken; das Wasser staut sich auf und wird sammt Sand und Gerölle in eine wirbelförmige Bewegung gesetzt. Es wurden dadurch um den Ponor herum viele Riesentöpfe in Flussbette gebildet, wenn der Wasserzufluss nicht abnimmt, wird der Südrand des Ponor überschritten und das Wasser fließt durch das höher gelegene seichtere Thal. Ein solches Thal zeigt auch die Nekudovo in demselben Gebiete. Solche halbblinde Thäler sind auch jene des Slouper Baches bei Sloup und der Bila Voda bei Ostrow; als ihre Fortsetzung erscheinen das Öde und Dürre Thal, welche nach Adamsthal führen.

- d) Trockene Thäler sind solche, welche gar keine oder nur temporäre Flussläufe besitzen. Dieselben haben kein gleichsinniges Gefälle und besitzen an ihrem Boden häufig einzelne Dolinen oder ganze Reihen derselben. Morphologisch sind unter denselben folgende Gruppen zu unterscheiden:

1. Die trockenen Thäler, welche in der Fortsetzung der halbblinden Thäler erscheinen. Die Thalplastik zeigt Eigenthümlichkeiten, welche mit den Abflussverhältnissen und petrographischem Habitus des Kalksteines im Zusammenhange stehen. Das trockene Thal, welches in der Fortsetzung des halbblinden Thales von der erwähnten Radovanska Reka erscheint, wird selten, oft einmal in 5—6 Jahren, vom Wasser durchflossen. Die Spuren der Flusserosion sind durch Verwitterung stark verwischt, haushohe Felsen stürzten von den steilen Gehängen in das cañonartige Thal herab und verschütteten dessen trockenen Boden, welcher von vielen Dolinen buchstäblich durchbohrt ist.

Viele trockene Thäler dieser Art habe ich im Kučajgebirge Ostserbiens beobachtet. Sie führen meist ganz einfach den Namen Dolina (Thal), entgegengesetzt den anderen vom Wasser regelmäßig durchflossenen, welche Reka (Fluss) heißen.

Das Thal von Velika Brezovica (Groß-Brezovica) ist besonders interessant. Es ist ein 6—7 km langes, ziemlich breites Thal, dessen Boden zuerst die paläozoischen Schiefer, dann die Kreidekalke bilden. Sobald man im Thale den Kalkstein betritt, sieht man einen großen Ponor, dann 3—400 m abwärts eine ganze Gruppe von Ponoren. Hier ist das Thal durch einen 3—4 m hohen Querriegel abgeschlossen, hinter welchem sich eine Furche befindet, an deren Boden eine ganze Reihe von Dolinen liegt. Vom ersten Ponor bis zum Querriegel haben wir ein trockenes Thal, welches nur beim Regen oder während der Schneeschmelze vom Wasser durchflossen wird; die Furche, welche sich von dem Querriegel abwärts hinzieht, wird nie vom Wasser durchflossen. Die Strecke bis zum ersten Ponore ist das blinde Thal von Bresovica, in dessen Fortsetzung zwei, ihren Charakteren nach verschiedene, trockene Thäler erscheinen. Das erste erstreckt sich vom ersten Ponore bis zu der Gruppe von Ponoren und dem Querriegel.

Dasselbe ist durch einen niedrigen Querriegel vom blinden Thale getrennt und wird periodisch vom Wasser durchflossen. Die zweite Strecke hinter dem großen Querriegel ist morphologisch mehr selbstständig und entbehrt der Flussläufe vollständig. Man kann sich dies durch die Annahme erklären, dass ein großes blindes Thal durch die Ausbildung der Ponore in drei morphologisch und hydrographisch verschiedene Strecken aufgelöst wurde.

Das Lazarusthal in demselben Gebiete ist im Bereiche der paläozoischen Schiefer stark verästelt und bildet eine cañonartige, tiefe Rinne in den Kreidekalken. Am Übergange in den Kalkstein ist das Thal durch einen Querriegel abgesperrt, unter welchem sich einige große Ponore befinden. Die ganze Thalstrecke im Kalksteine, welche in die Zlotska Reka ausmündet, ist ein hochgelegenes, trockenes Thal, stellenweise von Dolinen besetzt und oft durch große Blöcke abgesperrt; in einer engen Strecke, wo die beinahe senkrechten Thälwände 80—100 *m* hinaufsteigen und das Thal nur 4—5 *m* breit ist, sind in demselben viele Riesentöpfe eingesenkt. Das Wasser fließt regelmäßig nur bis zu den Ponoren. Das trockene Lazarusthal wird nur im Frühling während der Schneeschmelze von reißenden Fluten durchflossen, welche bei ihrer Mündung in die Zlotska Reka große Verheerungen verursachen. In diesem Falle ist ein ursprünglich normales Thal durch die Entstehung der Ponore in ein halbblindes und ein trockenes aufgelöst.

Die Foiba in Istrien hat ihr Bett bei dem Ponor bei Pisino so vertieft, dass ihre Fortsetzung, das Dragathal, auch morphologisch selbstständig erscheint. In der Zeit der Schneeschmelze hat das Dragathal einen eigenen Wasserabfluss zum Adriatischen Meere.

Inbesondere ist in dieser Hinsicht das verlassene oder todte Thal des Bonheurflusses in den Causses der Cevennen vom Interesse. Der erwähnte Fluss verschwindet jetzt in der Bramabiahöhle und erscheint nach einem unterirdischen Laufe von 700 *m* als der Bramabiau. Von seinem Ponor bis zum Ausflusse zieht sich ein oberirdisches, trockenes Thal, durch welches früher der Bonheur oberirdisch bis zum Bramabiaufluss geflossen ist.¹⁾ Mit der Zeit aber hat sich im Bette des Bonheurflusses ein tiefer Ponor gebildet, durch welchen das Wasser in die unterirdischen Höhlengänge abgelenkt wurde. Es entstand dadurch ein trockenes Thal, welches jetzt nie vom Wasser des Bonheur durchflossen wird; es bildete sich dabei auch aus einem normalen ein blindes Thal.

2. Die Karstflüsse geben ihr Wasser an die Ponore im Bette ab, so dass der untere Theil ihres Thales einen dünnen, steinigen Boden besitzt, welcher vom Karstflusse durch keinen erheblichen Querriegel getrennt ist. Solche Trockenthäler finden sich öfters zwischen der Stelle, wo der Fluss eines blinden Thales versiegt und dessen unterem Thalschluss. So enthält das blinde Thal Vojala im Kučajgebirge Ost-Serbiens ein langes trockenes Thal, welches Dubaćina (Furche) genannt wird. Dasselbe wird nur während der Schneeschmelze im Frühling vom Wasser durchflossen. Ähnlich ist das Trockenthal von Lost-River in Indiana bei St. Louis. Der Carters Creck und der Lost-River vereinigen sich und bilden den Lost-River, derselbe gibt sein Wasser an vier Ponore (sinks) ab. Beim normalen Wasserstande verschluckt nach Cox²⁾ der

¹⁾ Martel, »Sous terre.« Ann. du C. A. F. 1888. p. 256. ²⁾ Cox, »Seventh Annual Rep. of the geol. Survey of Indiana.« 1876, p. 224.

erste Ponor das ganze Wasser und ein großer Theil des Flussbettes von demselben bis zur Orange Ville bleibt trocken; nur bei starkem und lang anhaltendem Regen fließt das Wasser durch das ganze Bett.

Die öden und dürren Thäler im mährischen Devongebiete gehören auch hieher; sie werden aber sehr selten vom Wasser durchflossen, so dass sie als vollständig todte Thäler erscheinen. Der Slouperbach und die Bila Voda verlieren ihr Wasser in den Slouperhöhlen und Ponoren, resp. bloß in Ponoren unweit von Ostrow. Das Thal des Slouperbaches setzt sich in das trockene öde Thal, jenes der Bila Voda in das Dürre Thal fort. Diese Trockenthäler besitzen einen verhältnismäßig breiten Thalboden, in welche sich von beiden Seiten Schuttkegel und Schutthalden hineinbauen; oberhalb derselben ragen steile hohe Kalkwände auf, welche durch viele kleine Höhlen ausgezeichnet sind. Von den Wänden werden oft Felsen abgelöst, welche das Thal stellenweise absperren. Dort, wo die Kalkwände bis zum Thalboden hinabsteigen, befinden sich oft die Sauglöcher, welche jetzt verstopft und mit Gras bewachsen sind. Beide Thäler stellen verlassene, todte Strecken dar. Beim Hochwasser entwickeln sich in diesen trockenen Thälern kleine Bäche, welche sich in den Sauglöchern verlieren; zu dieser Zeit also haben sie eine selbständige Wassercirculation.

Diese trockenen Thäler, welche im unteren Theile eines Karstflusses auftreten, sind häufig. Ein Nebenfluss der Maas in Belgien, welcher durch das Dorf Falmignoul fließt, besaß früher ein normales Thal; jetzt verschwindet er in Ponoren (aiguigeois) und stellt im unteren Theile ein trockenes Thal dar. Die Lesse, welche jetzt in der berühmten Hanhöhle versinkt, hatte früher ein normales Thal; die untere Strecke des alten Bettes der Lesse ist jetzt ein trockenes Thal.¹⁾

3. Manche Thäler sind in ihrer ganzen Erstreckung trocken. Sie sind meist cañonartig, ihr Boden ist durch das Vorhandensein unzähliger Sauglöcher und Dolinen vollständig porös, so dass dieselben gar nicht mehr oder nur während der Schneeschmelze vom Wasser durchflossen werden. Solche Charaktere zeigt das Thal von Frassule im Kučajgebirge Ost-Serbiens. Nach Tietze²⁾ und Hassert³⁾ sind solche Thäler die Sušica und Pirni Do (Dol) in Montenegro, sowie nach Schmidl⁴⁾ jene Thäler im Bihargebirge, welche von den Walachen Valea secca genannt werden. Im schwäbischen Jura kommen solche Thäler oft vor.⁵⁾

4. Zu dieser Gruppe der Erscheinungen gehören auch die todten Thalstrecken, welche sich mitten in einem Karstthale befinden. Das Wasser eines Karstflusses wird von den Ponoren verschluckt, es folgt dann eine lange Thalstrecke, welche bei normalem Wasserstande nicht vom Wasser durchflossen ist, und weiter abwärts erscheint der Fluss von Neuem aus den Quellen im Bette selbst. Gleich nach dem ersten Ausfluss verschwindet der Punkwafluss in Mähren in der Höhle, welche sich bei Sloup am linken Gehänge des Thales befindet; es folgt eine trockene ungefähr einen Kilometer lange Strecke bis zum zweiten Ausfluss; dieselbe Erscheinung habe ich auch im oberen Laufe der Ressa

¹⁾ Bemmel, »Patria belgica, encyclopédie nationale.« Bruxelles 1877, p. 37

²⁾ Tietze, »Geol. Übersicht von Montenegro.« Jhrb. d. geol. R.-A. XXXIV., 1884.

³⁾ Hassert, »Die Oberflächengest. Montenegros.« Globus. Bd. 61. Nr. 4, p. 2.

⁴⁾ Schmidl, »Das Bihargebirge«, p. 29. ⁵⁾ »Das Königreich Württemberg von dem königl. statist.-topogr. Bureau.« Stuttgart 1882, p. 305; Lepsius, »Geol. v. Deutschland«. I. Theil, p. 482.

in Ost-Serbien beobachtet. Eine todte Strecke von 1 *km* Länge zeigt der Toutoutafluss in Neu-Kaledonien.¹⁾

Die blinden, halbblinden und trockenen Thäler stehen im Gegensatz zu den Sackthälern. Die letzteren sind, wie erwähnt, untere Karsthäler, welche am Abfalle des Karstgebirges oder am Rande des Karstplateaus beginnen. Die übrigen Formen sind obere Karsthäler. Die blinden, halbblinden und trockenen Thäler sind in der Regel einzelne Glieder eines unterbrochenen Stromthales, die Sackthäler sind dagegen meist die obersten Stücke desselben.

Die unterbrochenen Stromthäler sind aus einzelnen Zügen von blinden und halbblinden Thälern zusammengesetzt, welche durch unterirdische Durchbrüche, große und kleine Höhlengänge oder nur natürliche Brücken mit einander verbunden sind. Die Laibach durchfließt ein solches unterbrochenes Stromthal. Die Poik im Adelsbergertale, der Laaser-Bach und der Zirknitzer-See mit dem kurzen Laufe des Rakbaches sind Zuflüsse, welche verschwinden und nach kurzem oder längerem unterirdischen Laufe aus zwei Höhlen und mehreren Quellen im Planinathale hervorbrechen und die Unz bilden. Sie verliert am östlichen Rande des Kessels $\frac{2}{3}$ des Wassers und nur ein Drittel erreicht den nördlichen Thalrand, wo es von den vielen Sauglöchern (»Pod Stenami«) verschluckt wird.²⁾ Dieses Wasser erscheint in der Laibacher Tiefebene als der Laibachfluss (mit der Bistra). Das Stromthal der Laibach ist also aus einzelnen blinden Thälern und Poljen zusammengesetzt, welche durch Höhlengänge verbunden sind; nur der Rakbach zeigt auch bekannte natürliche Brücken von St. Canzian. Die abgeschlossenen oberirdischen Depressionen sind stufenförmig angeordnet. Das Kesselthal von Laas-Altenmark ist 580 *m* hoch, der Zirknitzer See 550 *m*, das Planinathal 450 *m* und die Laibacher Tiefebene nur 230 *m*.

Das Flussgebiet der Punkwa in Mähren besitzt zwei blinde Thäler. Der Slouperbach, welcher aus der Vereinigung von Zdárna und Luha entsteht, verliert sein ganzes Wasser bis zum Felsen Hrebenač und in den ersten Partien der Slouperhöhlen. Ebenso verschwinden die Gewässer des blinden Thales von Ostrow und Holstein in verschiedenen Ponoren (Propodany), von welchen der bedeutendste der Rasovna genannt wird. Diese Gewässer erscheinen zuerst in der Macocha, dann im Punkwathale³⁾ und fließen weiter zur Zwittawa. Ein unterbrochenes Thalsystem stellen auch die Flüsse Bonheur und Bramabiau in den Causses der Cevennen dar; der Bonheur verschwindet in einem Abîme und erscheint nach 700 *m* unterirdischen Laufes als ein mächtiger Fluss, der Bramabiau.⁴⁾

Diese Höhlengänge oder unterirdische Durchbruchthäler, welche einzelne blinde Thäler mit einander oder mit Sackthälern verbinden, stellen enge, meist sehr hohe Canäle dar, welche nur stellenweise niedrig sind; im letzten Falle sind diese Canäle seeartig erweitert. Viele Beobachter haben dieselben mit den Klammern oder Gorges verglichen. Die Höhlengänge der Bonheur sind 1—6 *m* breit, aber 10—40 *m* hoch, alle secundären Höhlengänge sind ebenso ganz eng und senkrecht auf

¹⁾ Chambeyron, »Note relative à la Nouvelle Calédonie. Bull. de la Soc. de géogr. 1875, p. 565. ²⁾ Putick, »Die unterirdischen Flussläufe von Inner-Krain«. Das Flussgebiet der Laibach. Mitth. der k. k. geog. Gesellsch. Wien, 1887, p. 277. ³⁾ Dr. Martin Křiž, »Der Lauf der unterirdischen Gewässer in den devonischen Kalken Mährens«. Jahrb. d. geol. R.-A. XXXIII, 1883, p. 266. ⁴⁾ Martel, »La rivière souterraine de Bramabiau«. Bull. de la Soc. Languedocienne de géographie T. XII, 1889, I. Trimestre.

den Hauptgang gerichtet. Solche Höhlengänge besitzt auch der unterirdische Fluss, welcher auf einer Länge von 120 m die Höhle Dargilan durchfließt; er hat auch drei größere Seen. Die Höhe der Höhlendecke erreicht hier 70 m.¹⁾

Das genetische Verhältnis der normalen und blinden Thäler im Karste.

Die blinden und trockenen Thäler der Karstgebiete sind primär oder secundär.

1. Sobald ein Fluss aus einem impermeablen Gestein in stark porösen und zerklüfteten Kalksteinboden eintritt, verschwindet das Wasser in dessen Spalten; es bilden sich mit der Zeit an solchen Stellen große Ponore aus; bis zu diesen vermag der Fluss sein Bett einzuschneiden und als Thalbildner aufzutreten; weiterhin fließt er in Höhlen. Das blinde Rekathal bis St. Kanzian ist primär.

2. Aus einem unterirdischen Höhlengange kann ein blindes Thal durch Deckeneinstürze gebildet werden. Auf solche Einstürze ist das kurze blinde Thal des Rakflusses bei St. Kanzian in Krain zurückzuführen; vom ursprünglichen Höhlengange sind hier noch zwei Naturbrücken stehen geblieben. Durch Fortsetzung solcher Höhleneinstürze können blinde Thäler in gewöhnliche normale verwandelt werden.

Secundär sind die blinden Thäler, die sich aus normalen entwickeln, und zwar kann dies geschehen:

1. Durch Ausbildung von Ponoren im Bette eines normalen Karstflusses wird dasselbe in ein blindes Thal verwandelt. Viele blinde Karsthäler weisen darauf hin. Sie bestehen in der Regel aus einem halbblinden oder blinden Thale, welches mit Ponoren abgeschlossen ist; im höheren Niveau, durch den hohen Rand des Ponores getrennt, setzt sich ein rudimentär gewordenes, trockenes oder todttes Thal fort, welches meist bis an den Rand des wasserreichen Sackthales reicht. Bei dieser Umwandlung eines normalen in ein blindes Thal bilden sich zuerst halbblinde Thäler; sie stellen die erste Phase in dem erwähnten Process dar. In der Radovanska Reka (p. 70) ist dieselbe zum Abschluss gebracht. Die zweite Phase ist im Bonheurthale beendigt worden. Dieselbe durchströmte zuerst mit dem Bramabiau ein normales Thal, es entstand ein tiefer Ponor in ihrem Bette, welcher ihr Wasser verschluckte und bis zu welchem hin die Erosion sich erstreckte, so dass ein bis dahin reichendes blindes Thal entstand. Die verlassenenen, trockenen Betten zwischen dem Slouperbache und der Punkwa einerseits und zwischen der Bila Voda und Punkwa andererseits, weisen auf ähnliche Entstehung dieser blinden Thäler hin.

Es herrscht bei allen Karstflüssen die Tendenz, ihre active Ponore flussaufwärts zu verlegen. Es wurde dargelegt, dass dadurch trockene und todtte Strecken in einem blinden Thale gebildet werden. Es ist klar, dass durch diesen Process auch die Verkürzung des Flussbettes in einem blinden Thale eintritt. Wie weit dieselbe fortschreiten wird, hängt in jedem einzelnen Falle von der Wassermenge, mit welcher der Karstfluss versiegt, und von der größeren oder kleineren Permeabilität des Kalksteines ab. Große Wassermenge und geringere Permeabilität wirken dem Verkürzungsprocess des Flussbettes entgegen. Eine entgegengesetzte Wirkung leisten auch die Schlammassen, welche der Fluss führt; durch dieselben werden

¹⁾ Martel, »Les nouvelles grottes de Cévennes«. Bull. Soc. Languedoc. de géogr. XII, 1889, II. Trim.

oft die Ponore verstopft und ihre Absorptionscapacität vermindert oder auch auf kurze Zeiten vollständig aufgehoben.

2. In Karstgebieten kann ein normales Thal in ein blindes durch Krustenbewegungen verwandelt werden. Ist nämlich der durch tectonische Vorgänge geschaffene Riegel groß, so muss ihn das Wasser unterirdisch durchmessen. Das blinde Thal von Bugiati in Peloponnes war ursprünglich, nach Philippson,¹⁾ ein nach Nord abfließendes normales Thal, wurde später durch tectonische Verschiebungen an den bei Psari hindurchziehenden Verwerfungen abgesperrt und abflusslos gemacht.

V. Die Poljen.²⁾

A) Definition, Name, Flächeninhalt.

Ein Polje ist eine große, flache, breitsolige Karstwanne, deren Gehänge sich scharf gegenüber der Sohle absetzen und welche eine ausgeprägte, mit Schichtstreichen parallele Längserstreckung zeigt. Die Poljen kommen nur in dislocierten Karstgebieten vor; sie sind auf Krain, die westliche Hälfte der Balkanhalbinsel, Kleinasien und auf den Faltenjura beschränkt; weiter kommen sie auf den adriatischen und ionischen Inseln und auf Jamaika vor.³⁾

Sie unterscheiden sich von den langgestreckten und meist gewundenen blinden Thälern durch ihre große Breite, das regelmäßige Zusammenfallen ihrer Längsaxe mit dem Schichtstreichen, ferner durch die Ebenheit ihres Bodens, welcher sich nicht nach einer bestimmten Richtung hin abdacht.

Es besitzen also die Poljen kein gleichsinniges Gefälle und am Boden eines und desselben herrschen oft verschiedene Abdachungen und Abflussrichtungen. Sie werden vorzugsweise durch das unterirdische Wasser inundiert, ebenso werden sie nach unterirdischen Hohlräumen entwässert, und zwar durch ein ganzes System von mächtigen Quellsträngen, mit deren Öffnungen, den Ponoren und Estavellen.

Von den Dolinen unterscheiden sich die Poljen zuerst durch ihre weit größeren Dimensionen, ferner durch ihre vorherrschende Längserstreckung und namentlich durch das Vorhandensein einer scharf ausgesprochenen Bodenfläche. Da es neben den zahlreichen kleinen auch große Dolinen gibt, die vielfach in einer bestimmten Richtung

¹⁾ Philippson, »Der Peloponnes«, II, p. 447. ²⁾ kroatisch: polje n; plur. polja.

³⁾ Auf dem aus Kalk aufgebauten Kaibabplateau im Westen Nord-Amerikas findet sich eine lange und verhältnismäßig schmale Wanne, welche eine nord-südliche Längserstreckung besitzt. Sie zerfällt in einzelne Theilwannen, von welchen der große De Motte-Park eine Länge von 16,20 km, eine Breite von 1,6—3 km und eine Tiefe von 70—150 m besitzt. Der Boden desselben ist nach verschiedenen Richtungen abgedacht und von keinem Flusse durchzogen. Diese Wannereihe ist, nach Dutton, das verlassene Bett eines alten Flusses, welcher vom N. zum Colorado geflossen ist. Durch die Hebung des Landes, welche im S. rascher erfolgte, wurde dieser Fluss durch einen Querriegel von Colorado abgesperrt; dieser Process war durch das trockene Klima begünstigt, welches während der Pliocänzeit in diesem Gebiete herrschte. (Dutton, »Tertiary History of the Grand Cañon District«, p. 192—194.) Diese Wannen dürften vielleicht Poljen oder poljenähnliche Depressionen sein.

gedehnt sind und in welchen gelegentlich eine eigene Bodenfläche sich wenigstens rudimentär entwickelt (wie z. B. in der nördlich gelegenen zweiten Doline Ponikve bei Fiume), so werden Übergänge zwischen den Dolinen und Poljen hergestellt. Die kleineren dieser Übergangsformen, bis 1 km Durchmesser, stellen wir zu den Dolinen, die größeren zu den Poljen.

Neben den typischen Poljen, welche Wannenformen sind, kommen auch Hohlformen vor, welche im allgemeinen den Poljen gleichen, aber in das Bereich der gleichsinnigen Abdachung eingezogen sind und einen oberirdischen Abfluss besitzen. Wir nennen dieselben aufgeschlossene Poljen.

Typisch sind die Poljen in Bosnien und in der Hercegovina entfaltet. Sie sind durch die Narenta in zwei Gruppen getheilt. Nordwestlich von dem genannten Flusse befinden sich die großen westbosnischen Poljen, wie die von Livno, Glamoč, Duvno und Kupreš. Sie sind auf die höchste Gebirgsstufe beschränkt, welche die Wasserscheide bildet; dies- und jenseits derselben liegen meist aufgeschlossene, von Flüssen durchzogene Poljen und normale Thäler.

Südöstlich von der Narenta liegen die kleineren hercegovinischen Poljen in einer mittleren Gebirgsstufe; diese Zone setzt sich nach Montenegro fort, wo wir die Poljen von Nikšić, Grahovo, Brezno und Cetinje haben. Die Wasserscheide rückt hier oft bis an das Meer und die Poljen dieser Zone kommen ebenfalls oft in der unmittelbaren Nähe desselben vor.

Die bosnisch-hercegovinischen Poljen zeichnen sich durch einen regelmäßigen Parallelismus in der Anordnung aus. Ihre Längsaxe liegt im Schichtstreichen, ist also in der Regel nordwestlich-südöstlich gerichtet. Die Mehrzahl derselben wird periodisch inundiirt, und zwar während der Winter- oder Herbstregen. Ihre Dimensionen wechseln selbst innerhalb kleiner Gebiete sehr beträchtlich. Das Livanjsko Polje in Westbosnien besitzt einen Flächeninhalt von über 300 km², und einige in der unmittelbaren Nähe desselben, welche alle Charaktere der echten Poljen besitzen, sind kaum 2 km² groß.

Die folgende Tabelle enthält die Dimensionen der Poljen von Bosnien-Hercegovina, Dalmatien und Montenegro, welche ich auf der Spezialkarte im Maßstabe 1 : 75.000 gemessen habe. Aus derselben sieht man, dass wir unter den westbosnischen und hercegovinischen Poljen drei Hauptgruppen nach der Größe ausscheiden können. In die erste Gruppe fallen solche mit einem Flächeninhalte von 100—300 km², in die mittlere diejenigen von 10—50 km², in die dritte Gruppe gehören endlich die kleinsten mit einem Flächeninhalt von 2—10 km².

1. Der Flächeninhalt der Poljen von West-Bosnien und Hercegovina:

1. Livanjsko Polje	379.34 km ²
2. Nevesinjsko »	188.80
3. Popovo »	181.23
4. Glamočko »	129.60
5. Duvanjsko »	122.33
6. Kupreško »	93.05
7. Gacko Polje	53.36
8. Mostarsko Blato	32.67

9. Vukovsko Polje	30.21 <i>km</i> ²
10. Dabar »	29.84
11. Ravanjsko »	20.90
12. Dugo »	18.79
13. Rakitno »	14.57
14. Gornje und Donje Zimlje	12.94
15. Fatničko Polje	9.76
15. Ljubinjsko »	8.07
17. Ljubomir »	8.00
18. Kočerín	4.56
19. Trusinsko Polje	4.22
20. Lukavačko	3.49
21. Udrešnje	2.59
22. Zlatopolje	1.97
23. Mokro Blato	1.75

2. Die Poljen in Dalmatien.

1. Imosko Polje	101.44 <i>km</i> ²
2. Gornje und Donje Dicmo	35.15 ¹⁾
3. Der Vranasee bei Zara Vecchia	34.50
4. Der See bei Dusina	30.53
5. Konable od. Canalli	23.29
6. Vrgorac	17.09
7. Dvrsno	7.04
8. Der Vranasee auf Cherso	4.92
9. Jesero	3.37 ²⁾
10. Cepić-See in Istrien	6.59

3. Einige Poljen und poljenähnliche Depressionen in Montenegro.

1. Nikšičko Polje ²⁾	48.— <i>km</i> ²
2. Grahovsko Polje	13.68
3. Velinje	10.44
4. Duboki Do	7.31
5. Cetinjsko Polje	7.—
6. Srijedi	6.64
7. Nikošé	3.35
8. Jele	2.62
9. Cerovica	2.34

B) Gestalt und Dimensionen.

1. Die Mehrzahl der Poljen hat eine längliche oder ovale Form, deren Länge wenigstens zweimal größer ist als die Breite. Das Verhältnis dieser zwei Dimensionen zu einander ist im Polje Čardak Livade, einem kleinen hochgelegenen Polje in Westbosnien 2:1; dasselbe Verhältnis herrscht im Planina Polje in Krain. Jedoch die Mehr-

¹⁾ Nach Klaić (Prirodni zemljopis Hrvatske, p. 296); nach Gavazzi 40 *km*². (Vransko Jezero u Dalmaciji 1889, p. 4. Sep.-Abdr. aus den Schriften der südslavischen Akad. d. Wiss. in Agram 1889). ²⁾ Die Poljen von Vrgorac, Dusina und Jesero liegen an der bosnisch-dalmatinischen Grenze. ³⁾ Nach Dr. Hassert's »Reise durch Montenegro«, 1893, p. 37.

zahl der ovalen Poljen besitzt eine Längsaxe, welche mehrmals größer ist als die Queraxe. Beim Livanjsko Polje in Westbosnien ist dieses Verhältnis 10 : 1, beim Glamočko Polje sogar 26 : 1. Die Wannen in Macedonien, Albanien und Griechenland zeigen dieselbe Form. Die Länge und Quererstreckung verhalten sich zu einander: beim Pheneossee¹⁾ wie 3 : 1, beim Janjinasee²⁾ wie 4,5 : 1 und im Stymphalos³⁾ wie 13,5 : 1. Die Längsaxe liegt in Krain und im westlichen Theile der Balkanhalbinsel bis zur Bojanamündung im Schichtstreichen, zeigt also eine nordwestlich-südöstliche Richtung; in Macedonien, Albanien und Griechenland herrscht eine nord-südliche Richtung vor, eine Ausnahme bildet der Kopaissee, dessen Axe eine ost-westliche Richtung zeigt, doch parallel zum Schichtstreichen verläuft.

Die Größenverhältnisse der Polje variieren stark. Das Polje von Čardak Livade misst 3.5 km Länge und 1.75 km Breite. In unmittelbarer Nähe kommen neben ihm die großen Poljen von Westbosnien vor, wie Glamočko mit einer Längsaxe von 40 und einer Queraxe von 1.5 km, dann Livanjsko Polje, welches 60 km lang und circa 10 km breit ist.⁴⁾ Das Polje von Janjina misst 35 km Länge bei 8 km Breite,⁵⁾ jenes von Homala auf Kephallenia ist 6 km lang und 1500 bis 1800 m breit,⁶⁾ das kleine Polje von Lucha auf Zante misst 1.5 km Länge und circa 300 m Breite.⁷⁾ Ebenso sind in Lykien neben kleinen Poljen, welche vielleicht den Namen große Dolinen verdienen, auch große bekannt, wie jene von Elmaly, Plain of Samary und andere Yailas.⁸⁾ Die interior valleys von Jamaika, insbesondere jenes von Queen of Spain, dann Mexiko, Fontabelle und Oxford gehören zu den großen Poljen.⁹⁾ Der Lac du Joux im Jura misst in südwestlich-nordöstlicher Richtung 7—8 km.¹⁰⁾ Viel seltener kommen rundliche Poljen vor, deren Länge nicht viel größer ist als die Breite. Der Kastoriasee stellt ein rundes Polje dar mit 8 km Durchmesser. Ein kleines Polje, Blato genannt, westlich von Mostarsko Blato in der Hercegovina, dann das tiefgelegene Zadlogpolje im Birnbaumerwalde in Krain haben eine solche Gestalt.

Eine dritte Gruppe, zu der die Mehrzahl der Poljen in Krain und Griechenland gehört, zeigt eine unregelmäßige, zerfranzte Gestalt. Auch diese besitzen eine vorwiegende Längserstreckung, doch kommt dieselbe wegen der Zerfranzung nicht so deutlich zum Ausdruck. Zu denselben gehören unter andern auch das Urbanicapolje in Südwestkroatien, sowie auch das Duvanjskopolje in Westbosnien.

2. Gehänge und Boden. Überkleidung des Bodens der Poljen. Die Gehänge eines Poljes zeigen steile Böschungen und meist stoßen dieselben ganz unvermittelt mit dem Boden zusammen, so dass eine scharfe Knickung entsteht. Im Längs- und Querprofile sind also die Poljen trogähnlich. In einem und demselben Karstgebiete sind Poljen verschieden tief, so dass die relativen Höhen der Gehänge gegenüber der Poljesohle stark variieren. In Livanjskopolje in Bosnien sind die Gehänge im Mittel 100—200 m über der Bodenfläche hoch, im Gackopolje 180—200 m, im Dabarpolje 200—350 m (beide in der Hercegovina). In

¹⁾ Philippson, »Peloponnes.« I. p. 143. ²⁾ A. Boué, »Europäische Türkei.« I. p. 40 u. 41. ³⁾ Philippson, Op. cit. I. p. 126. ⁴⁾ »Mittheil. d. Section f. Höhlenkunde.« 1884. p. 20, 22. ⁵⁾ A. Boué, l. cit. ⁶⁾ J. Partsch, Kephallenia und Ithaka.« p. 17 u. 20. ⁷⁾ J. Partsch, »Die Insel Zante.« Petermann's Mittheil. 1891. p. 164, 165. ⁸⁾ Spratt, »Travels in Lycia, Milyas and the Cibyratis.« London 1847. II T. p. 165; Tietze, »Beiträge zur Geol. von Lykien.« Jahrb. d. geol. R.-A. 1885. p. 313, 314, 340, 341. ⁹⁾ Sawkins, »Geol. of Jamaika.« p. 20. ¹⁰⁾ »Topographischer Atlas der Schweiz.« Feuille 297.

den Poljen von Krain sind dieselben durchschnittlich 50—300 *m* hoch und die Gehänge des Zirknitzersees sind relativ die höchsten. Die Gehänge des Kopaissees sind 500—800 *m* hoch gegenüber der Thalsole.¹⁾ Alle diese Poljen, insbesondere jene von Bosnien-Herzegovina und von Krain, zeigen in der Fortsetzung ihrer Längsaxe mehr oder weniger ausgesprochene Furchen, so dass die Poljen in dieser Richtung keine scharfe Abgrenzung haben und die niedrigsten Gehänge besitzen. Die nordwestlichen und südöstlichen Gehänge sind bei den erwähnten Poljen die niedrigsten.

Die Poljen haben einen flachen Boden, welcher ausnahmsweise von einem bis zum anderen Ende ein gleichsinniges Gefälle zeigt. Meist hat jeder Ponor sein eigenes Zuflussgebiet, so dass der Boden der Polje in mehrere selbstständige hydrographische Gebiete zerfällt. Der Mušicafluss im Gackopolje in der Herzegovina, fließt entsprechend der Neigung der Poljesohle, zuerst in südöstlicher Richtung, dann biegt er plötzlich um und fängt auf weite Strecken in entgegengesetzter, nordwestlicher Richtung zu fließen an, um dann wieder die südöstliche Richtung aufzunehmen. Bei jeder dieser Biegungen finden sich Ponore, welche das Wasser verschlucken. Der südwestliche Theil des Beckens von Tripolis wird durch den großen Ponor Taka entwässert, das Gebiet des Saranopotamos wird nach SO und der nördliche Theil desselben Poljes nach N in die Ebene von Mantinea entwässert; überdies haben einzelne Buchten ihre eigene Ponore.²⁾

Oft ist eine ganze Gruppe von Poljen, welche auf einem engeren Gebiete neben einander liegen, durch eine und dieselbe Neigung nach einer bestimmten Richtung ausgezeichnet. Ein solches regionales Gefälle finden wir bei mehreren reihenweise angeordneten Poljen von West-Bosnien und der Herzegovina, u. zw. nach SO. Die Poljen von Laas, Zirknitz und Planina in Krain zeigen ein gemeinsames Gefälle nach NW. Solche Poljen communicieren mit einander durch unterirdische Flüsse, wie dies für diejenigen von Krain schon bewiesen ist.

Aus der Sohle der Poljen ragen oft vereinzelte Erhebungen auf, welche aus demselben Kalksteine zusammengesetzt sind wie die Gehänge. Der Homarberg im Livanjsko Polje in Bosnien stellt eine solche Erhebung dar. Der Dolomitberg bei Jakobovits im Planinathale ragt aus dem Alluvialboden hervor.³⁾ Aus der Sohle des Beckens von Tripolis erheben sich einige aus dem eocänen (Olonos) Kalke zusammengesetzte Hügel.⁴⁾ Dies führt zu der Annahme, dass unter dem Boden der Poljen dieselben Kalksteine auftreten, wie an den Gehängen. Selten aber ist diese steinige Unterlage bloßgelegt, meist ist dieselbe mit losem Material überkleidet. Steinige Partien treten gewöhnlich in der Umgebung von Ponoren und Sauglöchern auf, sowie im nördlichen Theile der Planina in Krain, dann im Popovopolje in der Herzegovina, in einzelnen Partien von Livanjsko Polje u. s. w.

Der Boden bei der Mehrzahl der Poljen besteht aus Schlamm und verschiedenen Varietäten von Zersetzungslehm, stellenweise auch aus Torfmoorbildungen.

Die Poljen sind die wichtigsten Sammelgebiete für Rückstände, welche bei der Auflösung und Verwitterung des Kalksteines in Karst-

¹⁾ Supan, »Die Trockenlegung des Kopaissees.« Petermanns Mitth. 1889. p. 72.

²⁾ Philippson, Op. cit. I. p. 107, 108. ³⁾ Putick, »Die unterirdischen Flussläufe von Innerkrain.« Mittheilungen der k. k. geograph. Gesellsch. 1887. p. 277.

⁴⁾ Philippson, l. cit.

gebieten zurückbleiben. Bäche und Flüsse der Poljengehänge bringen ihr Erosionsmaterial in die Poljen mit und setzen es hier ab. Dies wird bedeutend durch den Umstand begünstigt, dass während der Hochwasserperiode meist die Verstopfung der Ponore eintritt. Außerdem wird der Verwitterungslehm von den Gehängen während der Regen abgespült. Die Sohle der Poljen bedeckt sich also mit Schlamm und braunem Lehm, welcher stellenweise eine röthliche Farbe aufweist und in die terra rossa übergeht. Die größte Mächtigkeit erreichen diese Lehme an Stellen, wo sich die Schuttkegel der kleinen Bäche befinden. Diejenigen der periodisch überschwemmten Poljen, in welchen sich das Wasser längere Zeit aufhält, weisen auch die Torfmoorbildungen auf, wie der Zirknitzer- und Cepićsee, der Kopaissee, die Seen von Stymphalos und Pheneos. Die Zusammensetzung des Bodens ist die Ursache, dass die Poljen die einzigen, größeren, für die Cultur geeigneten Geländeformen der Karstlandschaften sind. Trotz der Überschwemmungen werden sie bebaut, in jenen von Jamaika wird die Kaffeeultur betrieben. Die Ansiedlungen befinden sich an höheren Stellen der Bodenfläche oder an den Thalgehängen.

Die Mehrzahl der Poljen in Bosnien und in der Hercegovina ist mit neogenen lacustren Ablagerungen ausgefüllt, welche oft bis zu namhaften Höhen reichen und auf der Gebirgsunterlage discordant aufruhcn. Weiße oder grau gefärbte, von kohligcn Pflanzenresten durchdrungene Mergel, Conglomerate und Schotter sind das petrographische Material der jungterteriären Ablagerungen, welche oft Kohlen führen und eine interessante Fauna enthalten.

Hauptsächlich mit Mergel sind nach Untersuchungen von v. Mojsisovics und Bittner¹⁾ folgende Poljen erfüllt: diejenigen von Duvno, Bogojno, Livno und Glamoč in Westbosnien, dann die Poljen von Gacko, Konje-Rama, Bijelo-Polje, Pašinska Voda, Ugrovaca, Mostarke Blato, Posušje, Glassinac und Rogatica in der Hercegovina. Einen schuttkegelartigen Charakter zeigen Conglomerate und Gerölle von Kupreško-Polje in Westbosnien und von Nevesinjsko-Polje in der Hercegovina. Im Mostarsko-Polje befinden sich über dem hellen Mergel mächtige, feste Schottermassen von schuttkegelartigem Charakter.

Die Poljen von Livadia, Sphakiotes und Olotos auf der Insel Leukos sind mit tertiären Mergel, welche Gyps enthalten, ausgefüllt²⁾; das Polje von Lokraki auf der Insel Corfu enthält Gypse und gypsdurchwirkte Mergel³⁾. Auf den jonischen Inseln kommen auch solche Poljen vor, welche keine tertiären Bildungen enthalten, wie diejenigen von Lacha, auf der Insel Zante, und von Homala auf Kephallenia⁴⁾.

In Lykien sind einige Poljen mit pliocänen Süßwasserablagerungen erfüllt; es finden sich aber auch solche, welche dieser Ablagerungen vollständig entbehren. Überhaupt kommen in allen diesen Karstgebieten neben den mit Tertiärschichten ausgekleideten Poljen auch solche vor, welche keine tertiäre Bildungen enthalten; die letzten sind also kein allgemeines Charakteristikum für alle Poljen, welche in den erwähnten Gebieten auftreten.

¹⁾ v. Mojsisovics, Tietze und Bittner. »Geol. von Bosnien«. Jahrb. der geol. R.-A. 1880. ²⁾ J. Partsch, Die Insel Leukas, eine geogr. Monographie. Ergänzungsheft Nr. 95 zu Peterm. Mittheilungen 1889. ³⁾ J. Partsch, Die Insel Korfu. Ergänzungsheft Nr. 88 zu Peterm. Mittheilungen 1887. ⁴⁾ J. Partsch, Die Insel Zante. Peterm. Mittheilungen 1891, p. 164, 105; Ergänzungsheft Nr. 98 zu Peterm. Mittheilungen 1890, p. 17, 20.

C. Hydrographische Verhältnisse der Poljen.

Einige Poljen sind durch das ganze Jahr hindurch trocken, andere werden periodisch inundiert, eine kleine Zahl relativ tief gelegener Poljen aber ist beständig mit Wasser erfüllt. Mit Hinsicht auf die hydrographischen Verhältnisse unterscheiden sich also folgende drei Typen: trockene, periodisch inundierte und See-Poljen.

1. Die trockenen Poljen

sind verhältnismäßig hochgelegene, meist seichte Einsenkungen, welche nie oder selten inundiert werden und in der Regel auch ohne fließendes Wasser sind. Nur eine kleine Zahl von Poljen ordnet sich in diese Gruppe ein. Sie sind im Krainer und Adriatischen Karste durch Zadlogpolje im Birnbaumer Wald und Dicompolje in Dalmatien, durch die Poljen der Orte Njeguš und Cetinje in Montenegro, vertreten. Das Njeguš-Polje liegt unter dem Lovčengebirge und besitzt eine absolute Höhe von circa 650 m; es ist bebaut, birgt Ansiedlungen und wird weder von einem Flüsschen durchflossen noch je inundiert. Das Polje von Cetinje besitzt eine absolute Höhe von circa 640 m und ist von 100—150 m hohen Bergen umschlossen. Der Boden derselben besteht aus Flussschotter, zeigt trockene, verlassene Flussarme und wird in der Regel nicht inundiert. Dieselben Verhältnisse zeigt auch das Polje von Bresna im nördlichen Montenegro; sein Boden ist aus zahlreichen Geschieben eines stark verkieselten Porphyrs zusammengesetzt¹⁾. Ab und zu, wie man mir dort erzählte, werden diese Poljen doch inundiert, und zwar tritt die Inundation im Cetinjsko-Polje etwa alle 10—20 Jahre ein.

2. Die periodisch inundierten Poljen

sind im Vergleich zu den vorerwähnten verhältnismäßig tief gelegen und werden zu bestimmten Jahreszeiten unter Wasser gesetzt. Die Inundation erfolgt während der Regenzeit oder der Schneeschmelze. Die überwiegende Zahl der Poljen gehört zu diesem Typus. Zwischen den trockenen und periodisch inundierten Poljen bestehen natürlich auch Übergänge, bei welchen es zweifelhaft sein kann, zu welchem der beiden Typen sie gehören. Es sind das solche Poljen, welche nur schwache und unregelmäßige Inundationen zeigen, wie das Dabarpolje (Biberpolje) in der Hercegovina.

Als typische Beispiele für die periodisch inundierten Poljen gelten diejenigen in West-Bosnien und in der Hercegovina, welche regelmäßig in Herbste eine große Inundation aufweisen. Im Popovopolje in der Hercegovina, welches von der Trebinjčica durchzogen wird, tritt die Inundation im September ein und dauert bis Ende April, sodass die Bodenfläche nur vier Monate trocken ist. Dieses Polje wird durch die Trebinjčica und zahlreiche Quellen inundiert, durch Ponore und Sauglöcher entwässert. Der Hauptponor liegt am Fuße des Berges Klek, ein zweiter bei Ravno.

In Montenegro gehört das Nikšićko-Polje zu den periodisch inundierten, und zwar wird ein großer Theil desselben im Frühjahr während der Schneeschmelze überschwemmt. In Krain gehören zu den periodisch inundierten die Poljen von Planina und Laas, dann diejenigen von Gottshee, Reifnitz, Guttenfeld und Ratschna. Das Polje von Planina ist größtentheils von Kreidekalken umrandet, nur die Südostgrenze desselben bildet Trias-Dolomit; es besitzt eine ausgesprochene Längserstreckung in der Richtung NW-SO. Der Boden

¹⁾ Sax, Mittheil. der k. k. geogr. Gesellschaft. Wien 1871, pag. 97.

besteht aus Alluviallehm und hat eine Länge von 450 *m*. Kleinere Überschwemmungen finden hier fast alljährlich statt, und zwar im Herbst; die größeren, bei welchen die ganze Thalsole inundiert wird und das Wasser 8—10 *m* steigen kann, viel seltener¹⁾. Die maximale Wassermenge bei Überschwemmungen im Planinathale beträgt nach Berechnungen von Vicentini 60,000.000 *m*³, der Zufluss per Secunde 79, der Abfluss 21 *m*³.

Das Polje von Planja wird durch die Unz, welche aus der Planinahöhle kommt, dann vom Mühlthaler Bache und zahlreichen Quellen inundiert. Die Unz fließt dann zum östlichen Rande von Planja und verliert dabei $\frac{2}{3}$ Wasser in Sauglöchern, nur $\frac{1}{3}$ Wasser erreicht den nördlichen Rand, wo dasselbe ebenso in vielen Sauglöchern versiegt²⁾.

Das Polje von Laas hat eine Seehöhe von 580 *m*, die dasselbe umschließenden Berge bestehen theils aus oberem Triaskalk, theils aus Kassianer- und Raibler-Schichten. Der Boden ist lehmig. Die regelmäßige Inundation des Laaserbeckens geschieht während der Herbstregen, oft aber wird es 2—3 mal jährlich überschwemmt. Die größten bekannten Überschwemmungen haben im Herbst folgender Jahre stattgefunden: 1851, 1872, 1875, 1878 und 1880.

Das Becken wird durch den Oberchfluss, welcher nie versiegt, und durch eine starke Quelle inundiert. Die Inundation schreitet von oben nach unten fort. Die Entwässerung besorgen viele Sauglöcher, welche in der Regel 0·1 *m*² im Durchschnitte groß sind; meist sind dieselben mit Erde und Gerölle verstopft, so dass das Wasser in die unterirdischen Canäle wie durch ein Filter versickert und in seinem Abfluss gehemmt wird. Sieben Meter über dem Thalboden befindet sich ein cirka 30 *m*² großer Ponor, die sogenannte Golobina. Das Wasser staut sich bei den Überschwemmungen rasch bis zur Golobina und stürzt in dieselbe mit donnerähnlichem Getöse³⁾. Nach den neueren Untersuchungen fließt dieses Wasser zum Zirknitzer See⁴⁾.

Diese zwei letzterwähnten Poljen und der Zirknitzer See liegen in verschiedener Höhe. Das Polje von Laas, als das höchste ist 580 *m* hoch, jenes von Zirknitz 550 *m* und die Planja 450 *m*. Ihr Wasser erscheint in der Laibacher Moorebene, welche 290 *m* hoch ist.

Von den griechischen gehört zu den periodisch inundierten der Kopaissee⁵⁾, das Becken von Tripolis und die Poljen auf den Jonischen Inseln.

Der Kopaissee (Topoliasee) in Böotien ist im Kalksteine der Kreideformation eingesenkt. Seine Längsaxe erstreckt sich vom O zum W, parallel mit Schichtstreichen. Über dem Seespiegel erheben sich die Gehänge 500—800 *m* hoch⁶⁾. Es wird durch den Kephissos und einige Wildbäche gefüllt und deckt⁷⁾ zur Zeit des höchsten Wasserstandes im März und April 230—300 *km*²; er besitzt dann eine maximale Tiefe von 2·5—3 *m*. Ende October hat der See seinen niedrigsten Wasserstand, die

¹⁾ v. Hauer, Op. cit. p. 39. ²⁾ Putick, Die unterirdischen Flussläufe von Innerkrain. Mittheil. der k. k. geogr. Gesellschaft 1887, p. 277. ³⁾ v. Hauer, Op. cit. p. 28, 29. ⁴⁾ Kraus, Die Entwässerungsarbeiten in den Kesselthälern von Krain. Wochenschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines 1888, Nr. 13. ⁵⁾ Nach Bursian (Geographie von Griechenland. I. p. 195) werden einige Strecken des Kopaissees nie trocken, sondern bilden auch während der Sommermonate tiefe, mit dichtem Rohre bewachsene Sümpfe, so die nördlichste Ausbuchtung der Ebene. ⁶⁾ Supan, »Die Trockenlegung des Kopaissees«. Petermanns Mittheilungen 1889, p. 72. ⁷⁾ Nach Neumann und Partsch (»Physikalische Geographie von Griechenland.« 1885. p. 245) 230 *km*², nach Kraus (»Sumpf- und Seebildung in Griechenland.« Mitth. der k. k. geogr. Gesellschaft 1892), Nr. 7 und 8, p. 389, 390 *km*².

ausgedehnten Sumpfflächen verwandeln sich zu dieser Zeit in einen Fieberherd. In einzelnen Jahren ist der Wasserstand verschieden; 1852 und 1864 wurden 2000 *ha* der Livadia-Ebene überschwemmt, 1856 lag der Kopais viele Wochen ganz trocken¹⁾. Der Kopais besitzt etwa 20 Ponore in verschiedener Höhe in zahlreichen Buchten, durch welche sich der See auszeichnet. Die Ponore werden oft verstopft und dann treten große Inundationen, wie die vorerwähnten ein²⁾. Schon zur Zeit der Minyer sollen Versuche gemacht worden sein, den damals bebauten Boden des jetzigen Sees der Cultur zu erhalten. Die begonnenen Entwässerungsarbeiten, deren Spuren man im Nordwesten des Kopais noch heute nachzuweisen vermag, werden jedoch von Anderen der Zeit Alexander des Großen zugeschrieben³⁾. Über die Projecte, welche in neuerer Zeit zur Austrocknung des Sees entworfen sind, berichten die Arbeiten von Supan und Kraus.

Auf der Insel Leukas gehören zu den periodisch inundierte Poljen die Becken von Livadi, Sphakiotes und Olotos. Das ersterwähnte Polje wird von atmosphärischen Niederschlägen und starken Quellen gespeist und von Ponoren entwässert. Die Herbstregen verwandeln einen großen Theil von Livadi in einen See, der sich den ganzen Winter über behauptet und sich erst im Frühjahr entleert. Blaue Mergel, Gypsvorkommnisse sind für dieses Polje von Interesse. Durch einen Höhenzug getrennt, liegt nordwestlich von Livadi ein zweites Polje, Sphakiotes. Den Boden desselben bilden ganz überwiegend die weißgrauen Mergel und Kalke miocänen Alters. Das geräumige Polje von Olotos wird auch im Winter in einen See verwandelt, da sein Wasser nur unterirdisch durch einige Ponore Abfluss findet. In Livadi und Olotos hat J. Partsch⁴⁾ die Umkehrung der Temperatur constatirt.

Auf der Insel Kephallenia ist die langgestreckte Thalmulde von Homala zwischen Aenoskette im Osten und des Höhenzuges Talamies im Westen ein typisches Polje. Es ist 6 *km* lang, seine Breite beträgt etwa 1500—1800 *m*. Der nördliche Theil besitzt ein ansehnliches Gefälle gegen Südost, der südliche Theil dagegen ist vollkommen eben. Der tiefste Theil des ganzen Polje dürfte ungefähr in seiner Mitte die Niederung von Labi sein. Dieselbe füllt sich im Winter mit stehendem Wasser. Das Polje liegt in einer Synklinale.⁵⁾

Die Insel Zante birgt in ihrer Mitte das Polje von Lucha, welches 1.5 *km* lang und circa 300 *m* breit ist. Die starken Novemberregen verwandeln dasselbe in einen See, dessen Spiegel sich leicht mit einer Eisdecke überspannt.⁶⁾

Im Gegensatz zu den vorerwähnten, welche nur während der Inundationsperiode Wasser enthalten, sonst trocken sind, stehen jene

¹⁾ Supan, l. cit. ²⁾ Bursian, »Geographie von Griechenland.« Leipzig 1862. I. p. 196.

³⁾ Lindenmayer, »Der Kopaissee.« Ausland 1865, Nr. 17; »Zeitschrift für allgemeine Erdkunde.« Neue Folge 1865, p. 66; Kraus, Op. cit., p. 384; Bursian, Op. cit. I. p. 198. Östlich von Kopais finden sich zwischen den vom Rande dieses Poljes bis zum Meere sich hinziehenden Gebirge noch zwei andere, weit kleinere Wasserbecken, die durch unterirdische Canäle mit Kopais in Verbindung stehen, sodass die Höhe ihres Wasserspiegels mit dem Steigen und Fallen des Wassers in dem Kopais wechselt; doch sind sie wirkliche Seen, indem der Boden das ganze Jahr hindurch ganz vom Wasser bedeckt ist. Nach der Beschreibung von Bursian (Op. cit. I. p. 199—202) dürften beide Seepoljen sein. ⁴⁾ Partsch, »Die Insel Leukas, eine geogr. Monographie.« Ergänzh. Nr. 96 zu Petermanns Mittheilungen 1889. ⁵⁾ Partsch, »Kephallenia und Ithaka.« Ergänzh. Nr. 98 zu Petermanns Mittheilungen 1890, p. 17 und 20. ⁶⁾ Partsch, »Die Insel Zante.« Petermanns Mittheilungen 1891, p. 164. 165.

periodisch inundierte Poljen, bei welchen beständig oder durch eine Reihe von Jahren die tiefsten Stellen mit Wasser bedeckt sind. Der Zirknitzer See in Krain, Cepić-See in Istrien, dann der Pheneos und Stymphalos-See im Peloponnes und der See von Elmaly in Kleinasien gehören zu solchen.

Der vielgenannte Zirknitzer See zeigt eine stark zerfranzte Gestalt. Seine Längsaxe erstreckt sich NNW—SSO. Er ist von oberen Triaskalken und Dolomiten umrandet, denen sich nur untergeordnete Züge von Cassianer Schichten an der Ostseite des Beckens anschließen. Nach Stache liegt derselbe an einer Verwerfungsspalte, welche sich nach Norden zum Polje von Planina, nach Südost zu jenem von Laas fortsetzt.¹⁾ Der tiefste Punkt des aus Zerstellungslehm, Schlamm und Torfmoorbildungen zusammengesetzten Bodens liegt im Süden des Beckens.

Die Herbstregen verwandeln denselben in eine Wasserfläche von 2100—5600 ha²⁾. Die Wassermenge, welche der See beim höchsten Wasserstande enthält, beträgt 105,520.000 m³.³⁾ Die größte Tiefe von 17·7 m zeigt der See zu dieser Zeit beim Saugloche Rešeto. Ein starkes Regenerwetter ist imstande, das ganze Seebecken in zwei bis drei Tagen, ja bei besonderer Heftigkeit in 24 Stunden zu füllen. Wenn keine starken Regen vorkommen, wird der See in 14—25 Tagen entwässert; nur aus den am Fuße des Javornik gelegenen Tümpeln fließt das Wasser niemals ganz ab. Der Ablauf des Sees braucht demnach ungefähr das Zehnfache der Zeit im Vergleich zu seiner Füllung. Die Eigenthümlichkeiten, durch welche sich der Zirknitzer See von der Mehrzahl der periodisch inundierte Poljen unterscheidet, sind folgende: Er wird oft 2—3mal jährlich inundiert und entwässert, dann und wann aber hält sich das Wasser 2 oder 3 Jahre ohne abzufließen.⁴⁾ Nach einer Mittheilung von Steinberg⁵⁾ aus dem Jahre 1714 ist der See volle 7 Jahre nicht abgelaufen.

Die Füllung des Zirknitzer Sees besorgen einige Bäche, von welchen die Obrh der bedeutendste ist, dann 12 Estavellen, Löcher und Dolinen im Thalboden und auf den Seiten, welche das Wasser zuerst ausfließen lassen, um es später wieder zu verschlucken. Von allen sind die wichtigsten Sucha Dulca und Wranja Jama, welche am Fusse des Javornik gelegen sind; eine dritte, die Höhle Bečke, ist als Ponor wichtig; sie nimmt das Wasser des Seebaches auf. Die übrigen Estavellen (Retje Jama mit 8 Löchern, Mala Ponikve mit 4 und Bubnarze mit 5) sollen Schwemmlanddolinien sein. Die größte Wassermenge, welche den Zirknitzer See füllt, wird aus den Estavellen Wranja Jama und Sucha Dulca geliefert.⁶⁾

Ältere Aeobachter, besonders Steinberg und Gruber⁷⁾ bestätigen diese Thatsache; dies weist auf große Beständigkeit der Felsestavellen.

¹⁾ Stache, »Die Eocägeb. in Innerkrain und Istrien.« Jahrb. d. geol. R.-A. 1859, p. 272. ²⁾ Urbas, »Das Phänomen des Zirknitzer Sees.« Zeitschr. d. deutschen und österr. Alpenvereines. X., 1879, p. 29. ³⁾ v. Hauer, »Berichte über die Wasserverheerungen in den Kesselthälern von Krain.« Österr. Touristen-Zeitung III. B., Nr. 4, 1883, p. 38; nach einem Elaborate von Dr. Vicentini. ⁴⁾ v. Hauer, Op. cit. p. 38; Urbas, Op. cit. p. 3. ⁵⁾ Urbas, Op. cit. 31; Landgrebe, »Grundzüge der physik. Erdkunde.« II. p. 121. ⁶⁾ Urbas, Op. cit. p. 2; v. Hauer, Op. cit. p. 38. ⁷⁾ T. Gruber, Briefe hydrogr. und physikalischen Inhaltes aus Krain 1781 p. 15 u. w.; ein Citat aus Steinberg bei Lersch, Hydrophysik 1865 p. 268 und 269.

Die zwei Estavellen scheinen auch in der Mittheilung Brown's über den Zirknitzer See besonders hervorgehoben zu sein.¹⁾

Der Zirknitzer-See wird durch Ponore entwässert, deren Zahl nicht genau bekannt ist. Gruber hat 28 Ponore gekannt,²⁾ Kosta³⁾ und Urbas⁴⁾ kennen nur 18, der Gewährmann von v. Hauer wieder 28. Diese verschiedenen Angaben sind wohl meist auf die ungenügende Beobachtung, theilweise aber auch auf die Veränderungen zurückzuführen, welchen die Ponore ausgesetzt sind. Die Zahl, welche v. Hauer angibt, dürfte die wahrscheinlichste sein. Der bedeutendste der Ponore ist die Velika Karlouca. Je nach der Tiefe und Position hat jeder Ponor sein eigenes Abflussgebiet und verschiedene Abflussdauer. Das Wasser verliert sich aus der Umgebung durch den Ponor Kamine in 5, Vodonos in 10, Rešeto in 15, Kotel in 20 und Leviše in 25 Tagen. Während dieser Zeit versiegt das Wasser auch in den übrigen Sauglöchern und der größte Theil des Beckens wird trocken.

Das Wasser des Zirknitzersees erscheint nach einem unterirdischen Laufe von 2400 *m*, mit einem Gefälle von 15 *m* wieder als Rakbach in dem tiefen, blinden Thale von St. Kanzian in Krain. Dieser Bach verschwindet wieder und sein Wasser kommt dann im Planinapolje zum Vorschein, ein anderer Theil seines Wassers dürfte sich mit der Poik vereinigen.

Der See von Pheneos hat 6 *km* Länge, 2 *km* Breite und 15 *m*. Tiefe Die Oberfläche des Sees beträgt nach den Aufnahmen von Philippson⁵⁾ 24 *km*², nach jenen, welche die französische Expedition ausgeführt hat, war der Flächeninhalt des Sees 31·4 *km*² gross⁶⁾, und die Tiefe 40—50 *m*⁷⁾, die Längsaxe 8 *km*. Das Becken wird durch den Phoniatikobach gefüllt und durch zwei Ponore, welche sich am Südwestrande befinden, entwässert. Das Wasser erscheint im starken Kephalyvrysi von Ladon⁸⁾, welcher 9 *km* in westsüdwestlicher Richtung und 240 *m* tiefer als der Boden des Pheneos liegt.

Die regelmäßigen Jahresschwankungen des Pheneos-Sees waren oft durch die Verstopfung der Ponore und wahrscheinlich auch durch die klimatischen Schwankungen gestört. Strabo berichtet, dass die Ladonquelle zuweilen ganz ausgeblieben ist; der Pheneossee hätte dann einen hohen Wasserstand. Plinius kannte 5 Überschwemmungen von Pheneos.

Der See stieg ganz besonders im letzten Jahrhundert; er soll damals 250 *m* Tiefe erreicht haben. Im Jahre 1809 fand Leike die Ebene trocken und angebaut vor. Drama Ali ließ Gitter vor die Ponore setzen, um ihre Verschlammung zu verhüten. Bei Beginn der griechischen Revolution war dieses Türkenwerk zerstört und schon im Jahre 1821 verstopften sich die Ponore und ein See begann von neuem die Ebene zu bedecken. Zur Zeit der französischen Aufnahme hatte der See die schon erwähnten Dimensionen. Im Jahre 1833 erfolgte plötzlich der Durchbruch des Wassers durch die Ponore zum Ladon, welcher große Überschwemmungen am unteren Alpheios hervorrief⁹⁾. Dann füllte sich der See von neuem, bis er den jetzigen Stand erreichte. Etwa 30 *m* über

¹⁾ An account from D. Edward Brown concerning an uncommon lake called the Zirknitz-See in Carniola. Philos. Transact. 1669 Nr. 54 p. 1083—1085. Vergl. auch Rosenmüller und Tillesius. Merkwürdige Höhlen 1799. II. B. p. 265. ²⁾ Gruber l. cit. ³⁾ Kosta, Reiseerinnerungen aus Krain. Laibach 1848 p. 50. ⁴⁾ Urbas. op. cit. p. 29. ⁵⁾ Philippson, Peloponnes I. p. 201 ⁶⁾ Strelbitsky, Superficie de l'Europe p. 204. ⁷⁾ Expédition scientifique de Morée T. II. p. 321. ⁸⁾ Bursian, Geographie von Griechenland. Leipzig 1868—1872 Bd. II. p. 186. ⁹⁾ Philippson, Peloponnes I. p. 144, Neumann und Pertsch, Physikalische Geogr. von Griechenland 1885. Expédition scientifique II. 2 p. 321.

dem heutigen Seespiegel umzieht den See eine deutliche Strandlinie. Philippson hält dieselbe für die Marke des Wasserstandes von 1830.

Das Becken des Stymphalosesees in Achaia hat eine SW—NO. gelegene Längsaxe von 13,5 km mit einer Breite von 1 km; die Oberfläche des Sees beträgt nur 2 km² (3. Juni 1888)¹⁾. Eine starke Quelle, ein Kephalaria, liefert dem Stymphalischen See den größten Theil seines Wassers. Am südlichen Ufer öffnet sich in der Bergwand eine große Katavothre, welche das überflüssige Wasser des Sees aufnimmt. Der Spiegel des Sees unterliegt je nach der Jahreszeit periodischen Schwankungen, er trocknet aber nie vollständig aus.²⁾ Es scheint, dass im Alterthume dieselben hydrographischen Verhältnisse im Stymphalischen See geherrscht haben. Die Malaria, welche dem Grunde eines so vollkommen verschlossenen sumpfigen Thales nicht fehlt, nannte die mythologische Sprache stymphalische Vögel.³⁾ Der Pheneos- und Stymphalos-See stehen nach Philippson mit den Brüchen in ursächlicher Verbindung, welche hier mit annähernd ostwestlicher Richtung hindurchziehen.⁴⁾

Von vielen Poljen in Lykien, welche Yailas⁵⁾ genannt werden und meist zu den periodisch-inundierten gehören, bildet das Polje von Elmaly den Übergang zu den Seepoljen. Dasselbe liegt wie auch die anderen dieses Gebietes im eocänen Kalksteine, erstreckt sich WSW—ONO, parallel mit Schichtstreichen und enthält im Osten einen See, den Alvan göl. Dieser Morast wird von zwei Schlundbächen, insbesondere von Ak-tschai inundiert. Die Entwässerung besorgen 30 Ponore oder Duden. Der See ist größer oder kleiner, je nach dem Verhältnisse der Wasserzufuhr zum Querschnitte der Ponore. Die Gewässer des Alvan göl kommen nach einem längeren unterirdischen Laufe in den Quellen des Baschkoz-tschai zum Vorschein.⁶⁾

3. Seepoljen.

Im Gegensatze zu den trockenen und periodisch inundierten sind die Seepoljen, wie schon ihr Name andeutet, beständig mit Wasser erfüllt; die periodische Inundation ist also in eine constante übergegangen. Die Mehrzahl derselben ist mit Grundwasser in Verbindung. Ihre Zahl ist gering. Zu ihnen gehören: der Vranasee auf der Insel Cherso im buarnerischen Golfe, der See desselben Namens bei Zara Vecchia in Dalmatien, dann der See von Janjina. Wie zwischen vorerwähnten Poljenarten sind auch zwischen den periodisch inundierten und den Seepoljen Übergänge vorhanden, welche darauf hinweisen, dass zwischen beiden Typen keine scharfe Grenze, sondern nur eine graduelle Abstufung besteht. Den Übergang vermitteln die Poljen, welche dem Typus des Zirknitzersees oder desjenigen von Elmaly in Lykien gehören.

Der Vranasee auf der Insel Cherso zeigt eine nordwest-südöstliche gelegene Längeaxe, liegt also im Schichtstreichen, ist auf allen Seiten von 250—300 m hohen steilen Kalkbergen umgeben und vom Meere nur durch eine schmale Hügelreihe getrennt. Derselbe ist ohne sichtbaren Ab- und Zufluss und enthält Süßwasser. Seine Tiefe beträgt 37 m, sein Spiegel liegt 16 m über dem Spiegel des Meeres.⁷⁾ Der Boden des Sees liegt also 21 m unter dem Meeresspiegel. Der Vranasee ist zweifellos in

¹⁾ Philippson. Der Peloponnes I. p. 126. ²⁾ Philippson l. c. ³⁾ Neumann und Partsch. Physikalische Geogr. von Griechenland. 1885. ⁴⁾ Philippson Op. cit. I. p. 146. Philippson, Verh. d. IX. deutschen Geographentages 1891. Karte. ⁵⁾ Spratt, Travels in Licia, Milyas and the Cibyratis. London 1847. II. 165 ⁶⁾ Tietze, Beiträge zur Geol. von Lykien, Jahrb. d. geol. R.-A. 1885. p. 340, 341; 313, 314. ⁷⁾ Seekarten der k. u. k. Kriegsmarine. Spezialkarte Bl. 6.

Verbindung mit den unterirdischen Canälen, welche Grundwasser enthalten. Lorenz¹⁾ hat durch Temperaturmessungen zu beweisen versucht, dass der See sein Wasser nicht von der Insel Cherso, sondern vom Festlande her und zwar wegen seiner sehr niedrigen Temperatur nur von einer der höchstgelegenen Gegenden des Velebit oder des Monte Maggiore erhalten könne, so dass es unter dem Meeresboden durchfließt und durch irgend einen Canal in jenem Seepolje aufsteigt. — Der Vranasee bei Zara Vecchia in Dalmatien ist ein ca. 34 km² großes Seepolje, welches Süßwasser enthält. Seine Tiefe beträgt 3·3 m,²⁾ sein Spiegel liegt 2 m über dem Meeresspiegel, so dass also der Boden des Sees unter dem Meeresspiegel liegt. Er wird auch von einem Bache genährt, welcher aus Norden kommt. — Hauptsächlich aber sind es unterirdische Canäle, welche Ab- und Zufluss bewirken. Der Vranasee ist also ein tiefes, mit Süßwasser ausgefülltes Polje, welches mit Grundwasser im Karste in Verbindung steht.

Das Becken von Janjina in Epirus besitzt eine Länge von ca. 35 km und eine Breite von 8·9 km; seine absolute Höhe beträgt 500m. Es sind in demselben zwei Seen vorhanden: der (8 km lange und 4·5 km breite) See von Janjina und derjenige von Labšistas, welcher einen durchschnittlichen Durchmesser von 2 km hat; die beiden Seen sind durch einen schmalen, seichten, mit Schilf bewachsenen Kanal verbunden.³⁾ Nach den geologischen Karten von Viquesnel, A. Boué und Toulou⁴⁾ ist dieses Becken im Kreidekalke eingesenkt.

Die beiden Seen des Beckens von Janjina werden vornehmlich durch Bäche gespeist, die von Mičikeli und aus Norden kommen, sowie auch durch unterirdische Quellen, deren bekannteste jene von Dobra Voda (Krio-Nero, Gutes Wasser) ist. Am Fuße des Berges Mičikeli münden in den See von Janjina viele solche unterseeische Quellen und das Wasser des Sees ist da vollkommen klar und durchsichtig.⁵⁾ — Die Entwässerung des Sees von Labšistas besorgt der Ponor Vojnikovo, dessen Wasser im SW. des Janjina-Beckens erscheint und einen Nebenfluss des Kalamas bildet. Der See von Janjina hat viele Ponore, von welchen im Sommer nur ein einziger vom Wasser erreicht wird. Die Schwankung des Seespiegels beim Hoch- und Niedrig-Wasserstand beträgt »mehrere Fuß«. Im Jahre 1684 und 1685 wurden die Ponore verstopft und das Wasser stieg bis in die Stadt Janjina.⁶⁾ Die Gewässer des Janjina-Sees fließen unterirdisch in den Loru und weiter zum Golf von Arta.⁷⁾

Jedes Karstgebiet zeigt neben den echten Poljen eine Anzahl solcher, welche wir aufgeschlossene Poljen genannt haben; dieselben stellen jetzt große und langgedehnte Thalweitungen dar, welche das Gepräge der echten Poljen an sich tragen. Selbst die hydrographischen Verhältnisse werden nicht allein vom durchfließenden Strom reguliert; es kommen in denselben oft starke Quellen und Ponore vor, wie in den echten Poljen. Sie sind also eine Combination von Thälern und echten Poljen.

¹⁾ Lorenz, Der Vranasee auf Cherso. Peterm. Mitth. 1859 p. 510. ²⁾ Gavazz. Vransko Jezero u Dalmaciji. p. 11. ³⁾ A. Boué, Europäische Türkei. I p. 40 u. 41. ⁴⁾ Viquesnel, Carte de la Macédoine, d'une partie de l'Albanie, de l'Epyre et de la Tessalie. — A. Boué, Carte de la Turquie d'Europe (geologisch coloriert. Manuscript im k. k. Hofmuseum). — F. Toulou, Geol. Übersichtskarte der Balkanhalbinsel. Petermanns geogr. Mitth. 1882. ⁵⁾ A. Boué, Über die unterirdischen Wasserläufe. Sitzungsberichte d. k. k. Akad. der Wissenschaft. Wien. LXXVII. Bd. p. 1. (Separatabdruck). ⁶⁾ Pouqueville, Voyage. vol. I. p. 139 u. 177; vol. II. p. 239. ⁷⁾ A. Boué, Europäische Türkei. I. p. 42.

Einige der aufgeschlossenen Poljen sind Thalerweiterungen, welche nie oder selten vom Flusswasser inundiert werden, weil der Fluss sein Bett zu sehr vertieft hat. Wir können Formen dieser Art trockene, aufgeschlossene Poljen nennen. Der Narentafluss in der Hercegovina zeigt eine große Reihe von solchen, welche sich auch durch ihre Süßwasserablagerungen unzweifelhaft als Poljen der in Westbosnien und Hercegovina vorherrschenden Gattung erweisen. Der Vrbas durchfließt das Poljen von Jajce und die poljeähnliche Depression von Jajce bis Kluč; der Unafluss durchmisst drei aufgeschlossene Poljen: jene von Kulen Vakuf, von Bichač und Krupa. Von dem Koranafluss wird auch ein Polje, das Prosičeni Kamen, welches Süßwasserablagerungen enthält, durchflossen. — Eine ganze Reihe von trockenen, aufgeschlossenen Poljen wird von den Karstflüssen der Insel Jamaika durchzogen. Der Great River entwässert drei Poljen: jene von Seven Rivers, von Montpellier und Belvedere.

Manche Poljen sind in der Art aufgeschlossen, dass sie einen oberirdischen Abfluss haben; derselbe hat jedoch die Poljewandung nicht bis zum Boden herab durchschnitten, sodass sich über letzterem ein See erstreckt.

Das westliche Küstengebiet der Balkanhalbinsel ¹⁾ und der obere Lauf der Doubs im Juragebirge sind durch viele solche aufgeschlossene Seepoljen charakterisiert, die sich im Jura auf das Bereich der alten Vergletscherung beschränken und vielleicht auch mit demselben im Zusammenhange stehen.

Hiezu gehören:

	Länge	Breite	Tiefe
Lac de Joux ²⁾	7—8 km	1200 m	31 m
Lac de St. Point	6,5 km	650 m	40,3 m
Lac de Brennets	3,3 km	150 m	26 m
Lac de Nantua ³⁾	2,5 km	600 m	43 m
Ochridasee ⁴⁾	28,5 km	6—12 km	180 m
Scutarisee ⁵⁾	50 km	14 km	7 m
Kastoriasee ⁶⁾	8 km	Durchmesser	20 m

¹⁾ Die Flüsse in Griechenland und im Peloponnes fließen ebenso meist durch aufgeschlossene, poljeähnliche Depressionen, wie z. B. der Peneios, der Spercheios, Acheloos und Eurotas. Die 15 km lange Ebene von Leukae im Parnongebirge im Peloponnes besitzt noch eine Katavothre, trotzdem dass dieselbe gegen das Meer zu offen ist. — Franz Kraus, Sumpf- und Seebildungen in Griechenland. Mittheil. der k. k. geogr. Gesellschaft 1892. p. 406.

²⁾ Topographischer Atlas der Schweiz. Bl. 297. Le Lieu. ³⁾ A. Delebecque, Atlas des lacs français. Levés en 1891 Pl. 6. Lac de Joux, St. Point und Brennets sind von Doubs durchflossen; der letztgenannte besitzt überdies unterirdische Abflusscanäle, welche sein Wasser verschlucken. (Delebecque, L'étude des lacs dans les Alpes et le Jura français. Revue générale des sciences 1892 Nr. 7, p. 239). ⁴⁾ Länge und Breite sind nach der Generalkarte von Mittel-Europa 1:300.000 (Europ. Orient) gemessen; die Tiefe nach Müller (Albanien, Rumelien und die österr.-montenegr. Grenze 1844. p. 8). Nach A. Boué ist die Länge ca. 31 km, die Breite 6,6 km und die Tiefe 14—15 Faden (Europ. Türkei. I. p. 54). Im Becken sind viele starke Quellen und Ponore sichtbar, und zwar im See selbst, als auch unfern des Klosters des hl. Naum auf der Küste (A. Boué. Über die unterirdischen Wasserläufe. Sitzungsberichte d. k. Akad. LXXVII. p. 8). Der See zeigt Schwankungen, welche 1,5 m betragen und welche A. Boué mit Seiches des Genfersees vergleicht (Europ. Türkei. I. 54). ⁵⁾ Hassert. Der Scutarisee. Globus 1892. Nr. 2. p. 21. Die Tiefe wurde bei niedrigstem Wasserstande gemessen. ⁶⁾ A. Boué, Europ. Türkei. I. p. 42. Der See wird durch starke Quellen von Dupjak und jene im SW. von Kastoria genährt, weiter durch die Bäche: Longos, Sičica und Zuflüsse von dem Kalkberge Viči. Er wird zur Bistrica entwässert.

4. Flüsse, Quellen, Ponore und Estavellen.

Obwohl die Poljen Einsenkungen in der Landoberfläche darstellen und so die Anlagen für Flussläufe bilden, so sind doch die Flüsse kein nothwendiges Attribut der Poljen. Die trockeneren hochgelegenen Poljen enthalten in der Regel keinen Flusslauf, wie die Poljen von Njeguš, Brezna und Cetinje in Montenegro. Die Seepoljen besitzen zwar gewöhnlich oberirdische Zuflüsse, doch kommen auch hier Fälle vor, wo sie keine haben, wie der Vranasee auf Cherso.

Von periodisch inundierten werden die einen bloß durch atmosphärische Niederschläge und Quellen inundiert, wie z. B. die Poljen auf den Jonischen Inseln. Die Mehrzahl der Poljen wird vorzugsweise durch Quellwasser inundiert; dies gilt z. B. vom Polje von Glamoč (Glamočko Polje) in Bosnien, wo ein ganzes System von Quellen am Ost- und Westfuße des Homarberges auftritt.¹⁾ Die Füllung des Zirknitzersees besorgen Quellen und 12 Estavellen, dann einige Bäche, von welchen die Oberch der bedeutendste ist. Diese starken Quellen vom Typus der Kephalaria sind allgemein bekannt und mit Eigennamen belegt, wie die Estavellen von Vranja Jama und Sucha Dulca im Zirknitzersee, die Dupjakquelle im Kastoriasee und Krio Nero oder Dobra Voda im Janjinasee. Im allgemeinen sind die Flüsse von geringer Bedeutung für die Inundation und nur wenige Poljen werden hauptsächlich durch oberirdische Flüsse überschwemmt. Zu solchen gehören: das Popovo Polje in der Hercegovina, der Pheneossee, welcher durch den Phoniaticobach inundiert wird, dann das Polje von Elmaly in Lykien, welchem der Fluss Ak-tschai den größten Theil des Wassers zuführt. Der Kopaissee soll einzig und allein durch den Kephissos und einige Wildbäche, aber nicht durch unterirdische Quellen, gespeist werden. Man schließt dies daraus, das 1856, als der Seeboden viele Wochen lang trocken lag, in demselben keine Quellen gefunden wurden.²⁾ Allein es möge bemerkt werden, dass in den Karstländern die Quellen häufig während der Sommermonate vertrocknen, was auch hier geschehen sein kann. Die meisten Flüsse nahen sich den Poljen nicht oberflächlich, sondern brechen aus Höhlen in Gestalt von mächtigen Quellen hervor.

Solche starke Quellen nennt man in Griechenland Kephalaria oder Kephavorysi, in Frankreich sources Vauclusiennes. Eine besondere Art von Quellen kommt aus dolinenähnlichen Gebilden in der Sohle der Poljen, welche zuerst Wasser ausfließen lassen um es später wieder zu verschlucken. Im französischen Jura werden solche Gebilde Estavellen genannt. Die Entwässerung der Poljen besorgen Schlundlöcher, welche in Bosnien, in der Hercegovina und in Serbien Ponore, in Griechenland Katakothren, in Frankreich puits absorbants, auf Jamaika sinks, in Mähren Propadany genannt werden.

Die Quellen sind theils Spalt-, theils Schichtquellen. Sie treten gewöhnlich dort auf, wo Gehänge und Boden zusammenstoßen, sonst finden sie sich am Fuße isolierter Erhebungen mitten in Poljen. Ihre Anordnung ist, insbesondere in den Poljen von Bosnien und der Hercegovina, oft regelmäßig, indem sie reihenförmig den Fuß der Gehänge begleiten. — Neben diesen gewöhnlichen Quellen treten auch solche in dolinenähnlichen Gebilden auf, welche meist mitten in der Poljesohle gelegen sind. Diese letzteren lassen das Wasser beim starken

¹⁾ Mitth. der Section für Höhlenkunde. 1884. Nr. 2. p. 20. ²⁾ Supan, Die Trockenleg. des Kopaissees. Petermanns Mitth. 1889. p. 72.

Regen oder während der Schneeschmelze oft bis zu namhaften Höhen aufschließen. Solche Quellen werden in der Literatur *Speilöcher* genannt. Dieselben sind die Ausmündungen unterirdischer Kanäle, welche aus einem höheren Niveau, beispielsweise aus einem höher gelegenen Polje kommen.

Im Gegensatz zu den Speilöchern sind die *Ponore* Eingänge zu unterirdischen Kanälen, welche in ein tieferes Niveau führen und daher Wasser aufschlucken können. Die Ponore sind hauptsächlich im unteren Poljeschlusse *concentriert*, und zwar befinden sich dieselben in in der Thalsohle selbst, sowie auch an den Gehängen, aber nur in geringer Höhe. Vereinzelte Ponore, insbesondere aber solche von geringer Capacität, welche gewöhnlich Sauglöcher genannt werden, befinden sich meist im ganzen Polje zerstreut.

Die Ponore sind entweder enge Fugen und Spalten, welche oft für das Auge kaum bemerkbar sind, oder große Felsponore, welche auf weite Strecken begehbar sind und deutliche Zeichen der Flusserosion zeigen. Die ersteren Ponore sind in jedem Polje häufig, die letzteren selten, ihre Zahl ist meist auf 5—6 beschränkt. Das Polje von Laas besitzt eine Unzahl kleiner und nur einen großen Felsponor, *Golobina* genannt. Das *Popovo Polje* (*Popenpolje*) in der *Hercegovina* zeigt neben vielen kleinen nur zwei Felsponore, einen in der Nähe von *Ravno* und den anderen am Fuße des Berges *Klek*. Das *Mostarsko Blato* in der *Hercegovina* hat 100 kleine und nur einen Felsponor. Unter den Formen der ersterwähnten Ponore lassen sich zwei Typen unterscheiden.

1. Bloße Spalten und Löcher, welche zahlreich in steinigten Partien der Poljen auftreten und namhafte Wassermengen verschlucken. Solche Fugen befinden sich auch im Bette aller Karstflüsse. In ihnen verschwindet das Wasser der *Unz* im nördlichen Theile des *Planinapoljes*; an dieselben gibt auch die *Trebinjčica* im *Popovo Polje* ihr Wasser ab. Dieselben werden wir *Sauglöcher* nennen.

2. In dem mit Schlamm und Verwitterungslehm bedeckten Boden der Poljen bilden sich über den Spalten im Kalksteine kleine Schwemmlanddولين, durch welche das Wasser versickert. In vielen Poljen sind solche Schwemmlanddولين die Hauptponore; der Wasserabfluss geht in denselben langsam vor sich, in Folge dessen dauert die *Inundation* längere Zeit, als in Poljen, welche meist bloße Spalten und Felsponore enthalten. Überdies sind die hydrographischen Verhältnisse in solchen Poljen unbeständig. Die Ursache davon sind große Veränderungen, welchen Schwemmlanddولين ausgesetzt sind; es bilden sich neue, während die Spalten der alten verstopft und mit Schlamm und Verwitterungslehm ausgefüllt werden. Von solcher Beschaffenheit sind die 100 Ponore im *Mostarsko Blato* in der *Hercegovina*, dann die Mehrzahl der 28 Ponore des *Zirknitzersees*.

Die Felsponore befinden sich selten in der Thalsohle; dieselbe ist mit losem Material bedeckt und in Folge dessen werden Spalten und Kanäle in Schwemmlanddولين verwandelt. Die Felsponore sind vielmehr auf die Thalgehänge beschränkt, wo sie in geringer Höhe und meist auch in geringer Zahl auftreten. Alle Felsponore haben eine trichter- oder schlotförmige Gestalt wie die *Avens*. Ihre Dimensionen variieren stark. Der Felsponor *Golobina* im *Laaserpolje* liegt 7 m über dem Thalboden und misst im Querschnitt ca. 30 m². Die Ausgänge der am Gehänge der Poljen mündenden Höhlen sind als

horizontale Felsponore zu betrachten, in welche sich die Karstflüsse verlieren.

Die Estavellen sind dolinenförmige Gebilde, welche abwechselnd als Spei- und Sauglöcher functionieren. Solche in Poljen ausmündende Öffnungen stehen mit einem oder mehreren unterirdischen Kanälen in Verbindung, welche nach aufwärts zu einem höher gelegenen, nach abwärts aber zu einem niedriger gelegenen Polje führen. Bei starken Wasserzufluss kann das Wasser nicht rasch genug durch die unterirdischen Kanäle nach abwärts abfließen; es muss steigen und die Öffnung wird als Speiloch wirken. Beim Eintritt niedrigen unterirdischen Wasserstandes entleeren sich die unterirdischen Kanäle und die Öffnung wird als Ponor functionieren, da jetzt Wasser durch die abwärts verlaufenden Kanäle abfließen kann. Die Estavellen sind Speilöcher während der Zeit der starken anhaltenden Regen; wenn der Wasserzufluss aufhört, sind sie als Ponor thätig. Der Zirknitzersee zeigt 12 Estavellen, von welchen die Sucha Dulca und Vrana Janca am Fuße des Javornik die bedeutendsten sind. Den größten Theil des Wassers, welches den Zirknitzersee füllt, liefern diese zwei Estavellen. Sie liegen über dem Thalboden, sodass sie nie verstopft waren und beständig fungierten; nach den Zeugnissen aus dem siebzehnten Jahrhundert ist wahrscheinlich, dass sie zu jener Zeit auf dieselbe Art thätig waren wie jetzt. Im Dromthal im Jura bestehen mehrere Estavellen, aus welchen Wasser bis 2 m Höhe emporsteigt, um dann wieder in denselben zu verschwinden. Die große Estavelle Frais-Puits, welche 4 km südöstlich von Vesoul liegt, misst 20–25 m im Durchmesser; nach den Regen von 2–3 Tagen springt das Wasser aus ihr auf und inundiert in kurzer Zeit das ganze Thal bis auf eine Entfernung von 10 km. Die Estavelle Puits de la Brême in Franche-Comte hat eine trichterförmige Gestalt von 25–30 m Durchmesser. In der Regenzeit quillt das Wasser aus derselben 4, 5 ja auch 8 Tag lang fortwährend hervor.¹⁾

Quellen aller Art knüpfen sich an die Ausgänge und Mündungen der Höhlen und weitverzweigten Höhlengänge, welche sich meist über der Sohle der Poljen befinden. Die Sauglöcher und Ponor sind Eingänge in die Höhlen, welche unter der Sohle der Poljen liegen.

In der That sind diese Höhlengänge in den untersuchten Poljen von Krain gefunden worden. Das Planina Polje besitzt weitverzweigte Höhlensysteme, welche über der Poljesohle liegen und nach Adelsberg und Zirknitz führen; ebenso ist unter der Sohle des Planinapolje ein ganzes System von Höhlen constatirt worden. Dieselben Verhältnisse zeigt der Zirknitzsee, das Ratschnapolje²⁾ u. A.

5. Die Inundation der Poljen.

Die Grundwasserverhältnisse sind im Kalksteine anders gestaltet als in übrigen durchlässigen Gesteinsarten. In einem losen, durchlässigen Terrain bildet das Grundwasser die Hauptmasse, in welcher Sand und Gerölle eingestreut sind; im Karstterrain ist das feste Gestein die Grundmasse und dazwischen liegen einzelne wasserführende Spalten und Kanäle, welche in Poljen und tiefen Thälern ausmünden.

Die Poljen sind die tiefsten Wannen eines Karstgebietes. Das atmosphärische Wasser wird von kleinen Dolinen, Avens und Light holes

¹⁾ Virlet, »Des cavernes, de leur origine etc.« Avesnes 1836, p. 13, 14.

²⁾ Kraus, »Die Karsterforschung.« Verh. d. Geolog. R.-A. 1888, p. 145.

verschluckt und durch Spalten und unterirdische Höhlen, welche sich über der Sohle des Poljen befinden, demselben zugeführt. Je tiefer ein Polje unter seiner Umgebung eingesenkt ist, eine desto größere Zahl von unterirdischen wasserführenden Kanälen wird dasselbe in sich aufnehmen (Quellen, Speilöcher, Höhlenflüsse, Estavellen);¹⁾ überdies communicieren die tiefen Polje mit höher gelegenen und empfangen auch von denselben große Wassermassen. Sie haben also einen größeren Wasserzufluss, wie dies der Zirknitzersee im Vergleich mit übrigen höher gelegenen Poljen von Krain zeigt. Es dürfte auch nicht zufällig sein, dass der Boden der Seepoljen des adriatischen Karstes meist unter dem Meeresspiegel liegt, wie der Boden des Vranasees auf der Insel Cherso und des Vranasees bei Zara Vecchia. Der Jezero bei Vrgorac in Dalmatien, welcher auch zu den Seepoljen gehört, liegt tief und nahe der Meeresküste. In der westlichen Hälfte der Balkanhalbinsel kommt noch ein einziges abgeschlossenes Seepolje vor, der Janjinasee, welcher ebenso wie die vorerwähnten tiefer als seine Nachbarn liegt.

Die Grundwasserverhältnisse und die tiefe Lage dieser Karstwannen sind die Ursachen des großen Wasserzuflusses in denselben. Die Abflusskanäle sind diesem enormen Zufluss nicht angepasst. Darin liegt die Ursache der Inundation. Von dem Verhältnisse, in welchen Zufluss und Abfluss stehen, hängt die Intensität und die Dauer der Inundation ab.

Wenn die Ponore, ihrer Capacität nach, größer sind als die Quellen, Estavellen, Speilöcher und Höhenflüsse oder wenn sie denselben gleich sind, haben wir trockene Poljen.

Wenn die Ponore kleiner sind als Zuflusskanäle, werden die Poljen inundiert. Dieses Verhältnis herrscht bei den periodisch inundierten Poljen während der Regenzeit und der Schneeschmelze, später wird der Abfluss größer und das Polje trocknet aus. Durch einige von Dr. Vicentini²⁾ berechnete Zahlenangaben sind die Verhältnisse bei Hochwasser in periodisch inundierten Poljen festgestellt. Im Polje von Laas beträgt der Zufluss bei Hochwasser 119 m³ per Secunde, der Abfluss 17 m³, im Zirknitzersee beträgt der Zufluss 155 m³, der Abfluss 85 m³, im Planinathale ist der Zufluss 79 m³, der Abfluss 21 m³. Im Popovo Polje in der Hercegovina³⁾ betrug die Wassermenge bei Hochwasser im Jahre 1883, 350 Millionen m³, der Abfluss in einer Secunde nur 72 m³. In Folge dessen herrscht die Inundation in diesem Polje oft 8 Monate.

Liegen die Ponore einige Meter über der Bodenfläche des Poljes, so verschlucken sie das Wasser erst, nachdem sie von demselben erreicht werden. Nach dem Hochwasser sinkt der Wasserspiegel in einem solchen Polje unter das Niveau der Hauptponore, das Wasser wird dann nur von Sauglöchern und Schwemmlanddolinen verschluckt und die Inundation dauert längere Zeit an. Solche Verhältnisse herrschen bei der Mehrzahl jener Poljen, welche den Übergang zwischen den periodisch inundierten und den Seepoljen bilden, wie im Mostarsko Blato in der Hercegovina, im Zirknitzer- und Cepićsee u. a.

Oft wird berichtet, dass periodisch inundierte Poljen außerordentlich große und langanhaltende Inundationen zeigen, durch welche sie zeitweilig in Seepoljen verwandelt werden. Im Planinapolje in Krain

¹⁾ Daher ist es auch unwahrscheinlich, dass der Kopaissee gar nicht durch Quellen gespeist wird. ²⁾ v. H a u e r, Österr. Touristen-Zeitung, III. 1883. p. 25, 27.

³⁾ G r o l l e r, Das Popovo Polje in der Hercegovina. Mitth. d. k. k. Geogr. Gesellsch. 1889. p. 86.

kommen neben kleinen alljährlich stattfindenden Inundationen auch große vor, bei welchen die ganze Thalsohle inundiert wird und das Wasser 8—12 *m* ansteigt. Sie finden nur im Laufe längerer Zeiträume statt. Dasselbe wird über die Mehrzahl der Poljen berichtet. Im Laaserpolje haben die größten bekannten Überschwemmungen im Herbste folgender Jahre stattgefunden: 1851, 1872, 1875, 1878 und 1880. Im Zirknitzersee hält sich das Wasser oft 2—3 Jahre ohne vollständig abzufließen, und nach einer Mittheilung von Steinberg aus dem Jahre 1714 ist der See volle sieben Jahre nicht abgelaufen. Das Becken von Vododeč in Südwestkroatien war bis vor kurzer Zeit ein periodisch inundiertes Polje, heute jedoch bleibt dasselbe von den Überschwemmungen frei.¹⁾ Die Ursachen dieser Inundationen sind folgende:

1. Die Ponore, welche sich in der Sohle befinden, werden verstopft. In diesem Falle bilden sich oft in periodisch inundierten Poljen zeitweilig Seen. Solche Verhältnisse sind oft im Pheneossee eingetreten. Durch Verstopfung der Ponore entstand in der neuesten Zeit in Imotsko Blato in Dalmatien ein See, welcher Jezero oder Blato genannt wird.²⁾ Der Stymphalossees ist seit der Zeit der französischen Aufnahme stark zusammengeschrumpft.

2. Das normale Verhältnis zwischen dem Zu- und Abfluss wird aus klimatischen Ursachen gestört. In niederschlagsreichen Jahren werden selbst die trockenen Poljen inundiert, wie das Cetinjisko Polje, die periodisch inundierten zeigen eine intensivere und längere Zeit andauernde Inundation. Es ist klar, dass in solchen niederschlagsreichen Jahren die Inundation nicht verhindert wird, wenn die Ponore auch bestens functionieren. Hiedurch kann nur die Dauer der Inundation vermindert werden.

Nach den Angaben, welche bisher darüber bekannt sind, ist es nicht möglich, diese durch Klimaschwankungen verursachten Veränderungen von Aufstauungen zu trennen, welche durch die Verstopfung der Ponore eintreten. Die Schwankungen der Inundationen in den Poljen von Krain, dürften nicht nur auf die Verstopfung der Ponore, sondern wahrscheinlich auch auf Schwankungen der Niederschlagsmenge zurückzuführen sein.

Die zeitweilig länger überschwemmten Poljen führen zu Seepoljen über, bei welchen die Abzugscanäle am Poljeboden nicht bloß zeitweilig nicht mehr genügen, sondern ständig zu klein sind. Dann füllt sich das Polje bis zum Niveau der seitlichen Abflusscanäle, bis an welche die periodisch inundierten Poljen wie der Zirknitzersee nur zeitweilig ansteigen, ständig mit Wasser.

Die Seepoljen zeigen zwei Arten von Schwankungen. Die regelmäßige, alljährliche Schwankung ihres Seespiegels entspricht dem regelmäßigen Gange der Niederschläge, der Inundation und Trockenlegung der periodisch inundierten Poljen. Die Niveauschwankungen dieser Art betragen im Vranasee auf Cherso 3 *m*, im See desselben Namens bei Zara Vecchia 2 *m*, im Ochridasee 1.5 *m*, im Janjinasee »mehrere Fuß«. Eine zweite Art stellen jene Schwankungen dar, welche unregelmäßig eintreten und einen Wasserstand zeigen, der von dem mittleren wesentlich abweicht. Der Janjinasee ist im Jahre 1684 sehr hoch angestiegen. Solche Schwankungen sind, entsprechend jenen der periodisch inundierten Poljen, auf die Klimaschwankungen und Verstopfung der Ponore zurückzuführen.

¹⁾ Tietze, Jahrb. der geolog. R.-A. 1880. XXX. p. 740. ²⁾ Mittheilungen d. Section für Höhlenkunde, 1885, Nr. 1.

6. Die Eintrittszeit und Dauer der Inundation in periodisch inun- dierten Poljen.

Die Poljen von Westbosnien zeigen einen hohen Wasserstand vom December bis Mai oder Juni, in einigen dauert die Inundation fortwährend vom December bis August. Das Polje von Livno ist im Winter und Frühjahr überschwemmt. Die Inundation beginnt im December und dauert bis zum Monate Mai; einzelne tief gelegene Partien dieses Polje, wie das sogenannte Buško Blato sind nur im Hochsommer trocken. Dieselben Verhältnisse zeigen auch die Poljen von Glamoč, Duvno, Imotsko (Dalmatien) und Gacko (Hercegovina). Das Thal von Han Prolog ist vom December bis August überschwemmt.¹⁾ Die Inundation der westbosnischen Poljen ist hauptsächlich durch die Winterregen und Schneeschmelze bedingt. In den Poljen von Dalmatien und der Hercegovina, welche näher der adriatischen Küste liegen, tritt die Inundation im September, October oder November ein und dauert höchstens bis Juni. Im Popovo Polje (Trebinjénathal) in der Hercegovina dauert die Inundation ununterbrochen vom September bis April, zu welcher Zeit der Rückzug der Inundation eintritt und in einigen Tagen oder Wochen wird der Poljeboden trocken.²⁾ In den Poljen von Ljubuški in der Hercegovina und von Vrgorac (Rastokpolje) in Dalmatien beginnt die Inundation mit Anfang November und dauert bis April, resp. Mai. Im Mostarsko Blato dauert die Inundation vom November bis Juni. Die Inundation jener Poljen von Dalmatien und der Hercegovina, welchen näher der adriatischen Küste liegen, wird hauptsächlich durch die Herbstregen verursacht.

In Griechenland und Peloponnes beginnt die Inundation mit dem Monate October und erreicht ihren höchsten Stand im November und December; diese Monate zeichnen sich durch die größte Niederschlagsmenge aus. Die Inundation hält noch in den Monaten Jänner und Februar und fängt dann an rasch zurückzutreten. Von Mai bis September tritt die sommerliche Trockenzeit in Griechenland ein, während welcher die Poljen austrocknen oder ihre Wasserbedeckung wird auf das geringste Maß reducirt. Der Kopaissee macht insoferne eine Ausnahme, dass bei ihm der höchste Wasserstand in März oder April eintritt. Die Poljen auf den Jonischen Inseln werden durch die Herbstregen in die Seen verwandelt, die sich den ganzen Winter über behaupten; oft werden sie, infolge der Temperaturumkehrung, welche in denselben herrscht, mit einer Eisdecke überspannt. Sie entleeren sich im Frühjahr. Dieselben Verhältnisse zeigen die »Yailas« von Lykien, welche im Sommer austrocknen und bebaut werden.

Die Poljen von Krain sind dadurch charakterisiert, dass die Inundation in denselben mehrmals im Jahre eintritt, den höchsten Wasserstand aber erreicht die Inundation in den Herbstmonaten.

Ein starker Regen, wie er auch in Sommermonaten hier auftritt, ist imstande, das ganze Becken des Zirknitzersees in zwei bis drei Tagen, ja bei besonderer Heftigkeit in 24 Stunden zu füllen; in 14—25 Tagen wird derselbe entwässert. Wie der Zirknitzersee wird auch das Polje von Laas oft 2—3mal jährlich inundiert und entwässert. Das

¹⁾ Mittheilungen d. Section f. Höhlenkunde, 1884, Nr. 2; siehe auch die betreffenden Blätter der österr. Specialkarte. ²⁾ Mittheil. d. k. k. geog. Gesellsch., 1889, B. XXXII. p. 80—83.

Račnathal zeigt den höchsten Wasserstand im Herbste, seltener im Hochsommer; dasselbe wird aber auch oft dreimal inundiert. Der Abfluss dauert 14—21 Tage, je nach dem Wetter und der Wasserstandshöhe. Im Guttenfelderpolje, welche dieselben hydrographischen Charaktere zeigt, dauert die Inundation höchstens 3—5 Tage.

Die Wassermengen, welche die Poljen während der Inundation enthalten, sind ungeheuer groß. Das Popovo Polje in der Hercegovina enthielt im Jahre 1883, nach einer Berechnung von Groller 356 Millionen m^3 Wasser. Die Wassermenge, welche der Zirknitzersee beim höchsten Wasserstande enthält, beträgt nach Vicentini 105 Millionen m^3 , die Maximal-Wassermenge bei Überschwemmungen des Planina-Thales erreicht 60 Millionen m^3 , diejenige des Laaserpoljes 26 Millionen m^3 .

Die hydrographischen Verhältnisse der Poljen sind also eine Folge der klimatischen und orographischen Verhältnisse der betreffenden Karstgebiete. Die Inundation tritt regelmäßig in der Zeit ein, welche durch größere Niederschlagsmenge ausgezeichnet ist. In Krain werden die Poljen während der Hochsommer-, insbesondere während der Herbstregen inundiert. In West-Bosnien dauern die Inundationen längere Zeit, sie werden durch die Winterregen verursacht und durch die Schneeschmelze und Frühlingsregen weiter erhalten. Auf den Jonischen Inseln und in Griechenland tritt die Inundation mit den subtropischen Regen ein, welche ihr Maximum im November erreichen. Im Hochsommer trocknen alle periodisch inundierten Poljen aus. Diese normalen hydrographischen Verhältnisse werden durch Klimaschwankungen und Verstopfung von Ponoren gestört.

D) Geologische Structur und Entstehung der Poljen.

Das classische Poljegebiet in Bosnien und der Hercegovina ist nach der Occupation dieser Länder durch österreichische Geologen aufgenommen worden,¹⁾ wobei selbstverständlich es sich in erster Linie darum handelte, die großen Züge des geologischen Aufbaues kennen zu lernen, was auch in überraschend kurzer Zeit geschehen ist. Hierbei sind auch manche Thatsachen über die Structur der Poljen erkannt worden. Klar und deutlich erhellt aus der geologischen Karte von Bosnien und der Hercegovina, dass die Mehrzahl der Poljen dem Schichtstreichen folgt. Sie sind daher Hohlformen, die man mit den Längsthälern vergleichen kann. Über das Verhältniß von geologischen Bau- und Oberflächenbeschaffenheit ergeben jedoch die genannten Aufnahmsberichte nur sehr wenig Aufschlüsse. Nach der Karte und den Profilen, welche jene Berichte begleiten, will es scheinen, als ob die drei Haupttypen der Längsthäler, nämlich Antiklinal- oder Aufbruchsthäler, Monoklinal- oder Isoklinalthäler, endlich Bruchthäler auch unter den dortigen Poljen Repräsentanten hätten, während sich für Synklinalpoljen aus Bosnien und der Hercegovina zur Zeit noch kein Beispiel beibringen läßt.

Das Polje von Glamoč liegt in einer Antiklinale von Triasschichten und ist umwallt von Juraschichten. Es kann daher als Aufbruchspolje bezeichnet werden. Auch das Nordende von Nevesinjsko Polje scheint ein solcher Aufbruch zu sein; sein Südende liegt ausschließlich im Kreidekalk.

¹⁾ v. Mojsisovics, Tietze und Bittner, »Grundlinien der Geologie von Bosnien-Hercegovina.« Jhrb. d. geol. R. A. 1880, XXX.

An der Grenze triadischer und jurassischer Kalke liegt das Polje von Kupreš und nach dem von v. Mojsisovic¹⁾ mitgetheilten Profile scheint es in der That ein Isoklinalpolje zu sein.

Einige Poljen sind von schmalen Eocänstreifen begleitet, welche die im wesentlichen flachgelagerten Kreidekalke der Hercegovina und Dalmatien durchziehen, und welche nach Bittner an Stellen von Überschiebungen vorkommen²⁾, wie z. B. im Polje von Jezero, dann in mehreren aufgeschlossenen Poljen. Auch die Poljen von Laas, Zirknitz und Planina in Krain knüpfen sich nach Stache³⁾ an Bruchlinien. Dasselbe gilt, nach Philippsson⁴⁾, von den Poljen von Pheneos und Stymphalos in Peloponnes.

Von vielen Poljen der Hercegovina ist die Structur weder aus der Karte noch aus dem Texte zu derselben zu entnehmen. Dies gilt von allen Poljen, die ausschließlich im Kreidekalke gelegen sind. (Das Polje von Livno, das Popovopolje, Mostarsko Blato, Gackopolje u. a.) Das Gackopolje scheint mir nach den wenigen Beobachtungen, die ich anstellen konnte, ein Antiklinalpolje zu sein.⁵⁾

Sehr wesentlich für die Auffassung der Structur der Poljen ist die von v. Mojsisovic und Bittner übereinstimmend berichtete Thatsache, dass diese jungtertiären Schichten der Poljenausfüllung dislociert sind.⁶⁾ Auch das ist ein Verhältnis, welches in den großen Längsthälern der Ostalpen wiederkehrt, wo im Mur-, Mürz- und Drauthal die jungtertiäre Thalausfüllung dislociert worden ist.

Nach diesen Thatsachen waltet kein structureller Unterschied zwischen den großen ostalpinen Längsthälern und den Poljen des adriatischen Karstgebietes ob. Der Unterschied ist lediglich ein morphologischer.

Structur der Poljen von Jamaika. Durch die Untersuchungen von Sawkins ist die Structur der Interior Valleys oder Poljen von Jamaika genauer bekannt worden. Nach zahlreichen geologischen Profilen sind auf Jamaika viele Synklinalpoljen vorhanden, wie diejenigen von Fontabelle, Green Park, Orange Valley, Hyde Hall und Motgany Hall, während zu den Antiklinalpoljen die Luidas Vale und Caul Vallay gehören. Die monoklinalen sind durch das Whitneypolje vertreten.⁷⁾

Nach diesen allerdings noch sehr dürftigen Angaben über die structurellen Verhältnisse der Poljen lässt sich hinsichtlich der Entstehung aussprechen, dass dieselbe in ähnlicher Weise geschehen ist, wie die der großen Längsthäler, nämlich durch das Zusammenwirken von Erosion und Denudation und der Krustenbewegungen. Direkt scheinen letztere in Poljen von Bosnien und Hercegovina kein Polje geschaffen zu haben, es fehlen die Synklinalpoljen. Das nachweisliche Auftreten von Aufbruch- und Isoklinalpoljen lässt auf den hohen Betrag der Denudation schließen, welche nach der Dislocation der Schichten stattfand, und durch welche die Hohlformen der Poljen entstanden. Der Umstand, dass

¹⁾ Op. cit., p. 231. ²⁾ Jahrb. d. geolog. R.-A. XXX. 1880, p. 435. ³⁾ Stache, Jahrb. d. geol. R.-A. 1859, p. 272. ⁴⁾ Philippsson, Peloponnes I, p. 146. Verh. d. IX. deutschen Geographentages. 1891 Karte. ⁵⁾ Meine Beobachtungen mussten sich aus mancherlei Gründen auf den Besuch des Gacko- und Nevesinjsko-Polje beschränken. Ich benütze diese Gelegenheit, um der Regierung von Bosnien und der Hercegovina bestens zu danken für die militärische Begleitung, die sie mir von der montenegrinischen Grenze bis Mostar gewährte, wo ich meine Fußwanderung in der Hercegovina aufgab. ⁶⁾ v. Mojsisovic, Op. cit., p. 227; Bittner, Daselbst, p. 436, 437. ⁷⁾ James G. Sawkins, Reports on the geology of Jamaica. London 1869.

die jungtertiären in bereits bestehenden Poljen abgelagerten Schichten dislociert sind, beweist, dass die Krustenbewegungen nach Bildung der Poljen noch fort dauerten. Alle diese Momente wirkten auch bei der Entstehung der ostalpinen Thäler, sie also können nicht die Wannensform der Poljen erklären, für letztere ist maßgebend, dass die Poljen im permeablen Kalkgebiete liegen, was Mojsisovics¹⁾ und Tietze²⁾, allerdings in etwas verschiedener Weise, hervorgehoben haben. Theoretisch kann man sich die Entstehung der Poljen auf verschiedene Weise vorstellen und demnach folgende Typen unterscheiden:

1. Echte Mulden- und Grabenpoljen. Treten Krustenbewegungen, relative Hebungen und Senkungen in Karstgebieten ein, so versiegen in allen gehobenen Gebieten die Flüsse und das Spülwasser wegen der Permeabilität, und es entstehen ungehindert durch die Erosion rein tektonische Wannenformen, wie Synklinal- oder Muldenpoljen; so können auch Grabenpoljen entstehen.

2. Abriegelungspoljen. Durch die Hebung des Landes im unteren Laufe eines Flusses wird die untere Abdachung, nämlich die eines Fluss-thales mit gleichsinnigem Gefälle, durch einen Querriegel abgeschlossen, da der Karstfluss, dessen Wasser in Sauglöchern und Ponoren versiegt, eine sich hebende Scholle nicht durchsägen kann. Solche Poljen stellen also eine abriegelte normale Abdachung dar und sind daher halb tektonischen, halb erosiven Ursprungs.³⁾

3. Aufbruchspoljen. Dieselben sind ihrer Entstehung nach mit der Bildung der Aufbruchsthäler wie des Weald und mancher Längsthäler der nördlichen Kalkalpen, analog. Bei der Bildung der normalen Aufbruchsthäler wird die Antiklinale abgetragen und unter einem härteren ein leicht zerstörbares Gestein (die Sandsteine der Weald, die Werfener Schiefer der ostalpinen Aufbruchsthäler) angeschnitten. Der Schicht-sattel wird in ein Thal umgewandelt, es entwickeln sich große Längsthäler. In Karstgebieten nun versiegen die Flüsse, welche sich an der Abtragung des Sattels beteiligen, und es bilden sich keine normalen Thäler, sondern abgeschlossene Hohlformen oder Poljen. Die dislocierten Bodenschichten der Poljen von Bosnien und der Hercegovina beweisen, dass nach der Bildung der Poljen die tektonischen Bewegungen fort dauerten und diese können die bereits entstandenen Poljen stark verändert, namentlich erweitert und vertieft haben. Die Poljebildung ist also eine Längsthalbildung, modificiert dadurch, dass das Wasser, welches erodierte und denundierte, in seinem Verlaufe versiegte.

Wie nun in einzelnen Fällen die Entstehung der Poljen zu denken ist, muss durch eingehende Untersuchungen derselben festgestellt werden. Vermuthungsweise möchte ich aussprechen, dass drei Synklinalpoljen von Homala auf Kepthallenia, dann die von Fontabelle, Green Park, Orange Valley, Hyde Hall, Motogany Hall und Rio Hoe auf Jamaika sich direkt auf Krustenbewegungen zurückführen. Die Poljen von Laas, Zirknitz und Planina in Krain, dann diejenigen von Stymalos und Pheneos in Peloponnes, das Polje von Great De Motte Park im Westen Nord-Amerikas dürften Abriegelungspoljen sein, während die angeführten Isoklinal- und Antiklinalpoljen wohl kaum anders als durch Erosion und Denudation entstanden sein werden.

¹⁾ v. Mojsisovics, Op. cit., p. 227. ²⁾ Tietze, Zur Geol. d. Karstersch. Jahrb. d. geol. R.-A. 1880. XXX. p. 736. ³⁾ Der Fluss Arize, welcher in die Höhle Mas d'Azil verschwindet, gibt ein ausgezeichnetes Beispiel, wie ein solcher Riegel vom Fluss förmlich durchlöchert wird. — Reclus, Nouvelle géogr. universelle, II. La France, p. 71.

VI. Die adriatische Karstküste.

Im adriatischen Küstenlande und im ganzen westlichen Theile der Balkanhalbinsel stehen die Formen der Küste im innigsten Zusammenhange mit dem Karstphänomen. Die Gliederung dieser Karstküste erscheint überall als eine Resultante aus den Karstformen der Landoberfläche und der positiven Verschiebungen der Strandlinien.

1. Im adriatischen Küstenlande herrscht die longitudinale Steilküste vor, welche oft durch Längsbrüche bedingt ist. Infolge der Permeabilität des Kalksteines können die Flüsse nicht die Gebirgsketten durchbrechen. Sie fehlen vollständig oder sind nur durch Bäche vertreten. Die Abspülung spielt eine geringe Rolle. Die Zufuhr von Sinkstoffen ist also an der longitudinalen Karstküste gering, so dass keine Anhäufung von Sedimenten stattfindet. Die Velebitküste des adriatischen Meeres ist eine solche longitudinale Steilküste. Ebenso ist die Küste von Kinuria in Peloponnes als eine geradlinige Steilküste zu bezeichnen; sie ist durch eine Bruchzone verursacht, welche sich in der geradlinigen unterseeischen Rinne des Golfes von Nauplion ausprägt.¹⁾ Stellenweise sind diese Küsten durch Karren ausgezeichnet²⁾. Die Küste des Peloponnes ist oft durch eine continuierliche Zone von Karren ausgezeichnet, welche sich in einer Höhe von 7—8 m über dem Meeresspiegel befinden und eine rauhere Oberfläche zeigen, als die Karren tief im Lande³⁾. Es wurde erwähnt, dass die Küsten von Kephallenia und Ithaka auch stellenweise Karren zeigen.

2. Die Flachküste ist in adriatischen Karstgebieten schwach vertreten. Im ganzen adriatischen Küstenlande bis zur Bojanamündung fehlt die Flachküste; dieselbe Erscheinung sieht man auf der Ostküste des Peloponnes. In Süd-Peloponnes und an der albanesischen Küste erscheinen zwei verschiedene Formen der Flachküste.

Die Südküste des Peloponnes besteht aus drei Halbinseln, zwischen welchen lappentförmige Buchten eingreifen; dieselben setzen sich in alluvialen Ebenen fort. Wir haben hier eine »bogenförmig aufgeschlossene Steilküste, durch Felscaps getrennt« (Philipsson). Im Hintergrunde der Buchten mündet gewöhnlich ein Fluss oder ein Bach. Solche Lappenküsten stehen im Gegensatze zu der Flachküste Albaniens.

Südlich von der Bojanamündung breitet sich eine flache alluviale Küste aus, welche von der Bojana, Drin, Matja, Ischmi, Artscher und Dartsch in einzelne Flächen zertheilt ist. Aus dem Sande und Schotter ragen einzelne Felseninseln hervor, welche den Scoglien des adriatischen Meeres analog sind; solche Scoglien sind der Mali Sutjel, Pulej, Mali Reč u. s. w. Die Flussmündungen schieben sich in das Meer hinaus, während die Flachküste zwischen ihnen bogenförmig zurücktritt!⁴⁾

¹⁾ Philipsson, »Peloponnes« II, p. 508. ²⁾ Hilber, »Geol. Küstenforschungen zwischen Grædo und Pola.« Sitzb. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien; math.-naturwiss. Classe. Bd. XCVIII. Abth. 1, p. 54. ³⁾ Boblaye. Notice sur les altérations des roches calcaires du littoral de la Grèce. Journ. de géol. III. 1831. p. 156. Sig. 4. ⁴⁾ Seekarten der k. k. Kriegsmarine. Specialkarte Bl. 26.

3. Einbuchtungen. Die Valloni der adriatischen Küste sind untergetauchte und in Buchten verwandelte Längsthäler, welche entweder an Querthalen ausmünden, wie z. B. die istrischen Valloni oder durch ein Querthal an einer Längsküste geöffnet sind. Die letzteren haben immer eine annähernd elliptische Gestalt, deren große Axe im Schichtstreichen liegt. Diesem Typus gehören die Vallone di Buccari, Vallone di Lussin piccolo u. a. Seltener tritt der Fall ein, dass die Valloni durch zwei Durchbruchscanäle mit dem Meere communicieren; sie sind dann von demselben durch eine schmale Insel getrennt. Der Hafen von Arbe besitzt zwei Canäle, welche die Insel Dolin umsäumen.

Oft greift das Meer in zwei, drei oder mehrere parallele Längsthäler ein und verwandelt dieselben in Buchten. Wir haben es also hier mit Valloni zu thun, welche durch Engen untereinander und mit dem Meere verbunden sind. Zu dieser Gattung gehören die aus drei Valloni zusammengesetzte Bocche di Cattaro. Der Canal zwischen der Südküste der Insel Pago und dem Festlande ist nichts anderes als eine aufgeschlossene, aus fünf Valloni zusammengesetzte Bucht, welche auf einer Seite mit dem offenen Meere auf der anderen mit dem Canale di Morlacca in Verbindung steht.

Die Valli sind kleine Buchten, welche dadurch entstehen, dass das Meer zwar das Querthal erfüllt, aber wenig oder gar nicht in das Längsthal eindringt; solche Form zeigt die kleine Bucht von Martinšćica bei Fiume.

Wenn Karstflüsse in die Valloni münden, so werden letztere entweder mit Brackwasser erfüllt oder durch Sinkstoffe zugeschüttet. Von der Krka in Dalmatien sind zwei solche Valloni, jene bei Sebenico und bei Prokljan durchflossen, sie stehen mit dem Meere und miteinander durch enge cañonartige Canäle in Verbindung und enthalten Brackwasser. Die Narentamündung bietet ein Beispiel für ein zugeschüttetes Vallone.

Die cañonartigen, tief in das Land eindringenden Buchten, welche wir in der Fortsetzung der Karstthäler in Istrien finden, sind die untergetauchten Partien derselben. Diese Buchten finden also am Lande ihre unmittelbare Fortsetzung. Im Arsathale reicht das Meer etwas bis über Vereinigungsstellen mit dem Valle Carpano hinaus. Die landeinwärts gelegenen Partien beider Thäler befinden sich nur wenig über dem Meeresspiegel und nahezu im Grundwasserniveau. Analoge Verhältnisse zeigen auch die zwei anderen Flüsse der südistrischen Karstplatte. Beide bestehen aus einem untergetauchten Theile und einem zweiten, dessen Boden nahe bis zum Grundwasser hinabreicht. Alle diese Flüsse führen wenig Sinkstoffe, sie können daher dem Eingreifen des Meeres nicht entgegenwirken.¹⁾

In der Gliederung der Karstküste sind also zweifache Formen zu unterscheiden. 1. Die Senkung überwiegt, die Sinkstoffe, welche die Flüsse führen, sind so unbedeutend, dass sie der Senkung kein Gleichgewicht halten können. In diesem Falle haben wir entweder eine steile Längsküste oder eine Karstküste durch untergetauchte Landformen charakterisiert, welche wir ihrer Form nach Valloni, Valli

¹⁾ Es sprechen keine Anzeichen dafür, dass diese Buchten einen fjordähnlichen Charakter besitzen wie Hilber annimmt (Op. cit. p. 57); die Schwelle, welche am Ausgange des Leme-Canals vorhanden ist, besteht aus Sand und Schlamm. Sie haben alle Charaktere eines Karstthales. Es scheint mir, dass zu ihrer Erklärung keine Höhlenerosions-Theorie nothwendig ist, wie Hilber (Op. cit. p. 58) meint.

und untergetauchte cañonartige Karstthäler genannt haben. 2. Die Senkung wird von der Accumulation überwogen; es entstehen dadurch verschiedene Formen der Flachküste und die zugeschütteten Valloni.

4. Im Einzelnen zeigt die Karstküste entweder untergetauchte kleine Formen der Karstoberfläche oder solche, welche durch die Wirkung der Brandungswellen erzeugt sind.

Untergetauchte und submarine Dolinen. Die kreisrunden oder elliptischen kleinen Buchten, welche oft durch enge Canäle mit dem Meere verbunden sind, stellen meist untergetauchte Dolinen dar; nebst der Form stimmen ihre Tiefenverhältnisse mit jenen einer Doline überein. Solche untergetauchte Dolinen sind der Lago Grande und Lago Piccolo am südöstlichen Ufer der Insel Meleda. Die ersterwähnte Bucht, welche eine Tiefe von 22 *m* zeigt, ist mit dem Meere durch einen 2—3 *m* breiten, kurzen Canal verbunden;¹⁾ ein Canal von gleichen Dimensionen verbindet denselben mit dem kleinen, ebenso trichterförmigen Lago Piccolo. Der Hafen von Priluca im Norden des quarnerischen Golfes dürfte auch eine untergetauchte Doline sein. Auch die Chiusa bei Pomer in Istrien scheint hieher zu gehören.

Die Bucht von Keri auf der jonischen Insel Zante ist nach J. P. Partsch eine untergetauchte große Doline.²⁾

Die Bucht von Vurlia an der Halbinsel Argolis ist eine vom Meere bedeckte große Doline. Auf dem Peloponnes kommt noch eine große Anzahl solcher untergetauchten Dolinen vor, schlauchförmige Einfahrten führen zu dieser kleinen runden Bai. Portochelion beim Cap Matapan, Keladia an der Halbinsel Argolis, die Bucht von Zarax an der Ostküste Moreas stellen untergetauchte Dolinen dar.³⁾

Die Rhede von Poros auf der Halbinsel Argolis, dann die Bai von Navarino sind untergetauchte Dolinen mit zwei Eingangscanälen.⁴⁾

Im quarnerischen Golfe sind submarine trichter- und brunnenförmige Dolinen vorhanden. Eine derselben befindet sich bei Moščenica und misst bei einer Tiefe von 70 *m* nur einige Meter im Durchmesser. Die andere liegt nahe der Hafeneinfahrt von Ika in Istrien und hat etwas kleinere Dimensionen.⁵⁾ Es scheint, dass im Quarnerischen Golfe viele solche Dolinen an Stellen vorkommen, wo das Süßwasser aus den Spalten am Grunde des Meeres hervorquillt.

Blaslöcher (Blow Holes) an der Karstküste. Darunter verstehen wir Schlote, welche hart an der Karstküste erscheinen und meist mit dem Meeresspiegel in Verbindung gebracht worden sind.

a) Durch die mechanische Erosion und Auslaugung des Kalksteines entstehen an der Karstküste Schlote, welche mit ihrer unteren Öffnung im Meeresniveau, mit ihrer oberen aber nur 2—3 *m* über demselben liegen. Bei jeder Bewegung dringt das Meerwasser in die untere Öffnung hinein und erscheint hervorquellend an der Oberfläche. Die Welle zieht sich zurück, das Wasser fließt durch die untere Öffnung wieder ab. Viele solche Blaslöcher habe ich an der Küste von Ragusa beobachtet. Sie werden in der serbischen Sprache Rikavica (brüllende Löcher) genannt. Auf der Insel Meleda hat solche Gebilde P. P. Partsch beobachtet.⁶⁾

¹⁾ P. P. Partsch, Das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda p. 5; Seekarte d. k. k. Kriegsmarine. ²⁾ J. P. Partsch, Die Insel Zante. p. 165 u. 167 ³⁾ Philippson, »Peloponnes« II. p. 513. ⁴⁾ Philippson, »Peloponnes« II. 513. ⁵⁾ Lorenz, »Physikalische Verhältnisse im Quarnerischen Golfe 1863,« p. 32 und 52. ⁶⁾ Das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda p. 6.

Etwas anders gestaltet sind die Blow holes, welche Woods¹⁾ in Korallenkalken von Süd-Australien beobachtet hat. In der Guichen Bay sind Höhlen im Meeresniveau vorhanden. Durch den Anprall der Wellen bilden sich an der Decke in den Höhlen schlotförmige Öffnungen, durch welche das Meerwasser an die Oberfläche gelangt.

b. Die Karstschlote sind mit dem Meere in Verbindung gebracht. Ihre Öffnung liegt 5—10 m über dem Meeresspiegel, so dass das Wasser bis zur oberen Öffnung nicht vordringen kann. Es dringt bis zu einer gewissen Höhe in den Schlot hinein, die Luft wird mit außerordentlicher Heftigkeit bald ausgestoßen, bald eingesaugt. Solche Blaslöcher befinden sich an der Südküste von Meleda, unweit Babino Polje. Das Brausen dieses natürlichen Gebläses soll bei hochgehender See manchmal so stark sein, dass man es auf eine Entfernung von 1/2 Stunde hört.²⁾ Boblaye hat an der Karstküste von Peloponnes, insbesondere bei der Citadelle von Nauplion Blow holes constatirt.³⁾

Die Höhlen und Meermühlen an der Karstküste.

An der Karstküste treten im Meeresniveau Höhlen auf, welche durch mechanische und chemische Erosion der Brandungswellen oder durch die vereinigte Thätigkeit des Meer- und Sickerwassers entstanden sind. In einer Höhe, bis zu welcher die Brandungswellen hinaufsteigen, befinden sich an mehreren Stellen der Karstküste von Peloponnes zahlreiche Höhlen, welche passend Küstenhöhlen genannt werden können. Dieselben haben einen breiten und hohen Eingang, landeinwärts aber sind sie immer enger und besitzen glatte Wände.⁴⁾ Seltener sind das tief ins Land eindringende Höhlen, welche die Küste im Meeresniveau umsäumen. Die Insel Sphakteria besitzt eine circa 15 m hohe Höhle, welche das Meer mit dem kleinen Hafen verbindet; in dieser Höhle haben wir also ein Naturthor im Meeresniveau.⁵⁾ An der adriatischen Karstküste kommen auch Höhlen vor; zu den tiefsten, welche ich beobachtet habe, gehören die Betahöhle bei Ragusa, dann die bekannte Aesculaphöhle bei Ragusa Vecchia, welche auch an Stalaktiten reich ist. Die Höhle auf der Insel Busi soll auch sehr tief und an Stalaktiten reich sein.⁶⁾ Auf der Insel Meleda befinden sich mehrere kleine Höhlen am Meeresufer; insbesondere ist die Südküste von Meleda durch dieselben angezeichnet.⁷⁾

An der Karstküste von Süd-Australien kommen oft geräumige Höhlen im Meeresniveau vor;⁸⁾ ebenso befinden sich an mehreren Stellen der atlantischen Kalksteinküste Höhlen, von welchen nicht eine so tief ist, dass die rückwärtige Wand ins Dunkle gehüllt wäre.

An der Karstküste kommen oft Stellen vor, an welchen das Meerwasser oberirdisch in die Schlote und Klüfte einströmt. An der Spitze der Landzunge von Argostoli auf der Insel Kephallenia dringt das Meerwasser 30—40 m ins Land und verschwindet in den Klüften des Gesteines; an diesen Stellen sind die berühmten Meermühlen von Argostoli angelegt. Die Klüfte nehmen nur ein bestimmtes Maß Wasser auf. Jeder Überschuss verursacht einen Rückstau. Andererseits wurden die Becken, die man am Ende der vom Meere ausgehenden Canäle

¹⁾ Woods, »Geological Observations in South Australia London« 1862 p. 169.

²⁾ Partsch, Op. cit. p. 6. ³⁾ Puillon Boblaye, Journal des géol. III, 1831. p. 150; siehe Fig. 4. ⁴⁾ Boblaye, Op. cit. p. 151 u. 152. ⁵⁾ Boblaye, Op. cit. p. 153. ⁶⁾ Luka Lucić, »Bisovska špilja« (Busihöhle). Viena 1889, p. 798. ⁷⁾ P. Partsch. »Das Detonationsphän.«, p. 4. ⁸⁾ Woods, »Geol. Observations in South Australia«, p. 169.

ausgegraben, auch nicht völlig trocken, wenn man den Zufluss von der See aus absperre, sondern das Wasser stand dann in ihnen still in einem beständigen Niveau 1,5 m unter dem Spiegel des Meeres. Derselbe Beobachtung wurde an einer Stelle des östlichen Ufer, die den Namen Vlichá führt, gemacht; das eindringende Meerwasser kommt zum Stehen in einer Höhe von — 1,5 m. Das Grundwasser liegt in solcher Tiefe. An der Ostküste der Landzunge von Argostoli liegt ein Platz, an der westlichen mehrere, an denen derselbe Vorgang sich vollzieht.¹⁾

Lorenz hat einen Schlot zwischen Abbazia und Lovrana gefunden, welcher das Meerwasser einsaugt. Er bildet ein Seitenstück zu jenen von Argostoli.²⁾

Philippson³⁾ hat an der Karstküste von Peloponnes mehrere solche Klüfte beobachtet, in welche das Meerwasser einströmt.

5. Reichthum der Karstküste an Küsten- und submarinen Quellen.

Die Karstküste zeichnet sich durch einen besonderen Reichthum an Quellen aus, welche zweifacher Art sind: die Quellen, welche hart an der Küste erscheinen, und submarine Quellen. Alle diese Quellen sind wasserreich, oft ganze Flüsse, besitzen eine niedrige Temperatur, welche weit hinter der mittleren Temperatur der betreffenden Orte zurückbleibt; einige der submarinen Quellen steigen auch hoch hinauf.

Der Karst oberhalb Fiume entbehrt gänzlich der Quellen; ebenso ist er an Flüssen arm. Oberirdisch fließt dem Adriatischen Meere zu die Fiumera bei Fiume, dann einige oft trockene Flösschen und Bäche wie die Bäche von Martinšćica, Crkvenica und Novi. Das ganze atmosphärische Wasser, welches dem Karstplateau zukommt, erscheint erst an der Karstküste in zahlreichen Quellen. Dieselben kommen auf der ganzen Zone von Kandrida an der Grenze gegen Istrien bis Povilje an der entgegengesetzten Küste vor,⁴⁾ auf einer Zone also, welche mehrere Kilometer misst; besonders wasserreich sind die Quellen im Golfe von Buccari und an der Fiumaner Küste. An der istrischen Küste treten ebenso zahlreiche Quellen zwischen Ika und Icichi hervor.⁵⁾ Auch weiter gegen Süden trifft man an der adriatischen Küste überall zahlreiche, starke Quellen: Die Omblaquelle bei Ragusa, das wasserreiche Flösschen in Cattaro, die Rieka in Montenegro, neben anderen weniger starken. Überall tritt auch deutlich ein Gegensatz auf zwischen diesem wertlosen Überfluss an Wasser hart an der Karstküste und der vollständigen Quellarmut des weiten, unmittelbar über diesem Ufer emporstrebenden Berglandes.

Eine große Zahl von submarinen Süßwasserquellen befindet sich am Meeresgrunde des quarnerischen Golfes.⁶⁾ Die submarinen Quellen bei Ika und Mošćenica an der istrischen Küste haben wir schon erwähnt.⁷⁾ Solche submarine Quellen sind auch an einigen Stellen zwischen Fiume und Volosca, dann an der Küste bei Senj bekannt.⁸⁾ Die Quellen erscheinen auch auf den Inseln, insbesondere zahlreich aber in den Depressionen, deren Boden unter dem Meeresspiegel liegt. Der Vranasee

¹⁾ J. Partsch, »Kephallenia und Ithaka«, p. 22. ²⁾ Lorenz, Jahrb. der geol. R.-A. 1866. Verhandl. p. 66. ³⁾ Philippson, »Peloponnes«, II, p. 495. ⁴⁾ Lorenz, »Die Quellen des liburnischen Karstes und der vorliegenden Inseln«. Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch. III. p. 103. ⁵⁾ Lorenz, Mitth. d. k. k. geogr. Gesellsch. III. 103. ⁶⁾ Lorenz, »Physikalische Verh. des quarnerischen Golfes« p. 53. ⁷⁾ Lorenz, Ibid. p. 32. ⁸⁾ Tietze, »Der geol. Bau der österr. Küstenländer«. Ausserordentliche Beilage zu den Monatsblättern des wissensch. Club in Wien. 1885. VI. Jahrg. p. 34.

auf der Insel Cherso ist, wie schon erwähnt, mit Quellwasser erfüllt. Das Süßwasser des Sees zeigt am Boden eine Temperatur von $6,4^{\circ}\text{C}$., an der Oberfläche von $9,4^{\circ}\text{C}$.¹⁾

Die Karstküste von Peloponnes ist durch unzählige Strandquellen charakterisiert; dieselben sind oft salzig.²⁾ Die submarinen Quellen kommen oft längs der Küste von Argolis vor; zu solchen gehört auch die starke Quelle Dine bei Astros. Es ist von besonderem Interesse, dass die französische Expedition einen submarinen, deutlich erkennbaren Fluss konstatierte; derselbe wird Anavolo genannt und entspringt am Meeresboden 300—400 *m* weit von der Küste.³⁾

Auf der Karstküste von Kephallenia kommen submarine und süße und salzige Strandquellen vor. Vor der Ostküste von Erisos sollen mehrere submarine Quellen vorhanden sein. Eine solche steigt im Hafen von St. Euphemia, in der Nähe des Südwestufers empor. Besonders quellreich ist aber der Uferstrand des Golfes von Samos.

Einen solchen Reichthum zeigt auch der östliche Ufersaum der Bucht von Argostoli: vom Anfang der Bucht bis an den Hintergrund von Kutavos entspringen nicht weniger als 18 Quellen, und zwar hart (oft nur 2—3 Décimeter) über dem Meere.⁴⁾

Die Karstküste des Golfes von Spezia in Italien zeigt zahlreiche und starke submarine Quellen, welche in der Richtung NW—SO angeordnet sind; darunter ist auch die bekannte starke Quelle Pola de Cadimare, deren Wasser 18 *m* aufspringt.⁵⁾

VII. Die Verbreitung des Karstphänomens.

Im Folgenden geben wir eine Übersicht über das Auftreten des Karstphänomens der Kalke der einzelnen geologischen Systeme. Auf eine Vollständigkeit erhebt dieses Capitel keinen Anspruch; viele einschlägige Beobachtungen dieser Art, welche in den Werken fremden Inhaltes, wo man sie nicht vermuthen kann, oder in den Berichten über die geologische Aufnahme einzelner Länder enthalten sein dürften, sind uns wahrscheinlich entgangen. Aus dieser Zusammenstellung wird aber doch ersichtlich sein, inwieweit die Entfaltung des Karstphänomens von dem Alter, von der Beschaffenheit und von den tektonischen Verhältnissen der Kalksteine beeinflusst wird.

Silur. In silurischen Kalksteinen von Ösel, Livland und Esthland sind Dolinen und Schlundflüsse, weiter unterirdische wasserführende Höhlen constatirt worden.⁶⁾ Dolinen und Höhlen kommen auch im silurischen Kalksteine im Staate New-York in Nord-Amerika vor.⁷⁾ Die silurischen Schichten in den baltischen Provinzen, sowie auch jene in Nord-Amerika haben eine horizontale oder fast horizontale Lage.

¹⁾ Lorenz, »Der Vrana-See auf Cherso«. Petermanns Mittheil. 1859, p. 510.

²⁾ Philippson, »Peloponnes«, II. p. 494. ³⁾ Expédition scientifique de Morée. T. II, 2, p. 325. ⁴⁾ Partsch, »Kephallenia und Íthaka«. p. 20. ⁵⁾ Daubrée, »Les eaux souterraines à l'époque actuelle«, I, p. 360. Auch die Südküste von Frankreich zeigt stellenweise Süßwasserquellen, welche dolinenähnlichen Vertiefungen entspringen (E. Fournier, »Esquisse géol. des environs de Marseille«. 1890, p. 13).

⁶⁾ Schmidt, »Untersuchungen über die silurische Formation von Esthland, Livland und Ösel.« Dorpat, 1857, p. 89; Eichwald, »Bull. de la Soc. des natur. de Moscou.« 5, 27 p. 65. ⁷⁾ Fruwirth, »Die Höhlen der Vereinigten Staaten in Nord-Amerika.« Petermanns Mitth. 1888, p. 203.

Devon. In den bituminösen devonischen Kalksteinen von Mähren kommen echte Dolinen vom Typus der Light holes (Macocho), die bekannten Höhlen von Sloup u. a., sowie der unterirdische Lauf der oberen Punkwa vor.¹⁾ Im Kalke derselben Formation sind auch die Höhlen von Devonshire in England²⁾ und die mit rothem Lehm oft vollständig ausgefüllten Dolinen Belgiens;³⁾ auch die Ebingeroder Devonmulde im Harz zeigt Karsterscheinungen in Devonischen Korallenkalken.⁴⁾ Die Hermannshöhle bei Rübeland, dann die Biels- und Baumannshöhle liegen in diesem Kalksteine. Im devonischen Kalksteine liegen auch die geologische Orgeln von Burtscheid,⁵⁾ welche stellenweise leer sind und Oberflächenformen darstellen. Die Karsterscheinungen in den Gouvernements Nižni-Nowgorod, Ufa und Perm befinden sich wahrscheinlich auch auf Devonkalk;⁶⁾ auch die Kalke derselben Formation im Staate Jowa⁷⁾ und in Brasilien zeigen Karstphänomene.

Kohlenkalk. In den subcarbonischen Kalksteinen von Belgien,⁸⁾ Nordengland⁹⁾ und Irland¹⁰⁾ kommen Vallées d'effondrement, Swallow holes, Höhlen, im letzteren Lande auch Dolinenseen und unterirdische Flüsse vor. In den Gouvernements Toula und Rjasan in Russland sind im Kohlenkalke zahlreiche mit Zersetzungslehm ausgekleidete, oft sumpfige Dolinen eingesenkt.¹¹⁾ Im westlichen Theile des großen Kohlengebietes von Nord-Amerika ist das untere Carbon durch Kohlenkalke vertreten, in welchem Karsterscheinungen vorkommen. Es gehören hieher die sink holes, und der bekannte Lostriver im Hardin county (Kentucky) und die sink holes, pools und weitverzweigten Höhlen von Virginia und Indiana.¹²⁾ In Carbonkalk sind auch die sink holes am Kaibabplateau im Westen Nordamerikas eingesenkt.¹³⁾

Dyas. Nur in jenen Gebieten, wo die oberen Glieder der permischen Formation durch tonige, dichte Kalksteine (Zechstein) vertreten sind, können sich Höhlen und geologische Orgeln finden. In der Zechsteingruppe des deutschen Dyas, und zwar in jenem Gliede, welches durch Zechstein und zellige Dolomite (Rauchwake) vertreten ist, kommen beide Gebilde vor.¹⁴⁾ Es ist mir nicht bekannt, ob dieselben auch im

¹⁾ Makowsky, »Die geol. Verh. der Umgebung von Brünn 1884«; Trampler, »Die Macocha«, XXXVI. Jahresbericht der Wiedener Communaloberrealschule 1891; Wankel, »Bilder aus der sächsischen Schweiz«, Wien. 1882, p. 173, 183. Kříž, Jahrb. der geol. R.-A. Mittheilungen der Section für Höhlenkunde 1882, N. 2, p. 10, 1884, N. 1, p. 1, 1886, N. 1, p. 1. ²⁾ Dawkins, »Die Höhlen und die Ureinwohner Europas«, 1876. ³⁾ Van de Broeck, »Mémoire sur les phénomènes d'alteration 1891.« p. 55. ⁴⁾ Kloos, »Die Hermannshöhle bei Rübeland«. Weimar, 1889. ⁵⁾ Nöggerath, »Neues Jahrb. für Mineralogie« 1845, l. c. ⁶⁾ Muškětov, »Physikalische Geogr.« II, 221—222 (in russischer Sprache). ⁷⁾ Hall, »Survey of the State of Jowa.« 1858, p. 130. ⁸⁾ Van den Broeck et Rutet, »Bull. de la Soc. belge de géologie«. T. II. 1888. p. 9. ⁹⁾ John Phillips, »Manual of geology«. p. 1885, p. 682. ¹⁰⁾ Daubrée, »Les eaux souterraines«. I. p. 351; Hull, »The physical geol. and geogr. of Ireland«. London 1878. p. 198. ¹¹⁾ Abich, »Über einen in der Nähe von Toula stattgefundenen Erdfall 1854«. p. 261, 262, 267 und 269. ¹²⁾ Owen, »Report of the geol. Survey of Kentucky 1856«. p. 84. — »Second Report of the geol. Survey of Kentucky 1857«.; »Third Rep. of the geol. Survey of Kentucky 1857«. p. 67. — Cox, »Fifth Annual Rep. of the geol. Survey of Indiana«. p. 261. — »Seventh Annual Rep. of Indiana«. p. 224. — Daubrée, »Les eaux souterraines«. I. p. 366. ¹³⁾ Dutton, »Tertiary History of the grand Cañon District«. p. 192 und 194. ¹⁴⁾ Gutbier, »Die Versteinerungen des Zechsteines und Rothliegenden«. 1849, II. p. 4. — Penck, »Die Geschiebformation Norddeutschlands«. Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesellsch. 1879, p. 134. — Credner, »Elemente der Geol.« 1883. p. 524. Von ganz anderer Natur sind die Erdfälle und Höhlen im oberen Zechstein bei Langerhausen, Ellrich, Stollberg u. s. w., sie stehen im Zusammenhange mit den Gyps- und Salzeinlagerungen, durch welche die obersten Glieder der Zechsteingruppe charakterisiert sind.

Magnesian Limestone des englischen Dyas verbreitet sind. In Brasilien kommen Karsterscheinungen in Kalksteinen vor, welche dem deutschen Zechstein ähnlich sind.¹⁾

In den Kalkgebirgen östlich von Chonsar in Persien, welche zum Theil aus paläozoischen Kalksteinen bestehen, fand Tietze ausgesprochene Karsterscheinungen.²⁾

Trias. Das Karstphänomen ist vorzugsweise an die alpine Entwicklung des Trias gebunden, in welchem die thonigen, mergligen und sandigen Gesteine des Keupers durch mächtige Kalke und Dolomite vertreten sind. Die Dolinen, Höhlen und die Karstthäler vom Todten Gebirge,³⁾ vom Dachstein,⁴⁾ vom Tennen-, Hagengebirge, vom Steinernen Meere⁵⁾ und Untersberg⁶⁾ sind meist im Dachsteinkalke, seltener im Hauptdolomite eingesenkt; in denselben Kalksteinen kommen die Dolinen und Karstthäler der südlichen Kalkalpen, insbesondere der Julischen Alpen⁷⁾ vor. Eine breite Zone von Hallstätter und Guttensteiner Kalken zweigt von den Ostalpen beim Laibacher Senkungsfelde ab und setzt sich in südöstlicher Richtung in das Dinarische System fort; sie ist von Kreide- und Eocänkalksteinen umgeben. In dieser Zone erreichen die Karsterscheinungen die größte Mannigfaltigkeit; neben einer ungeheuren Anzahl von Dolinen treten in diesen Kalksteinen auch Poljen auf, wie diejenigen von Laas, Zirknitz und Planina. Die Hallstätter und Guttensteiner Kalke ziehen gegen Südost fort und betheiligen sich am Aufbau des Velebit- und Plješivicegebirges in Südwest-Kroatien, wo die Karsterscheinungen ebenso intensiv entwickelt sind.⁸⁾ In Bosnien und der Hercegovina,⁹⁾ sowie auch in Montenegro findet man Dolinen, blinde Thäler, Poljen und Höhlen in triadischen Kalken und Dolomiten; in letzterem Lande treten zwei Zonen von triadischen Kalken auf, jene von Vir-Basar im SW und jene von Durmitor im NO, welche besonders intensiv verkarstet sind.¹⁰⁾ Es scheint, dass sich diese triadischen Kalke auch weiter nach Süden in den Karst von Albanien und Macedonien fortsetzen.¹¹⁾

Im Muschelkalk sind zahlreiche Dolinen und Höhlen in Württemberg eingesenkt.¹²⁾

Juraformation. In den horizontal gelagerten jurassischen Kalken der Causses der Cevennen sind die Karsterscheinungen typisch ausgebildet; es treten dort Dolinen, Avens, Light holes und Höhlen mit

¹⁾ Lind, »Fossile Säugethiere in den Höhlen Brasiliens«. Neues Jahrb. für Mineralogie. 1840. p. 210. ²⁾ Tietze, »Zur Geologie der Karsterscheinungen«. Jahrb. d. geol. R.-A. XXX. p. 741. ³⁾ Geyer, »Über jurassische Ablagerungen auf dem Plateau des todten Gebirges«. Jahrb. d. geol. R.-A. XXXIV. 1884, p. 336. ⁴⁾ Simony, »Die erosierenden Kräfte im Alpenlande«. Jahrb. d. österr. Alpenvereines 1871. — Bericht über die Mitth. von Freunden der Naturwissensch. in Wien 1847. I. p. 217. ⁵⁾ Penck, »Das Land Berchtesgaden«. Zeitschr. d. deutschen und österr. Alpenvereines 1885, p. 28 und 29. ⁶⁾ Fugger, »Der Untersberg«. Zeitschr. d. deutsch-österr. Alpenvereines 1880. ⁷⁾ Diener, Jahrb. d. geol. R.-A. 1884, p. 683 u. 684. ⁸⁾ Die reiche Literatur, welche diese Gebiete betrifft, ist bei einzelnen Capiteln dieser Arbeit berücksichtigt. ⁹⁾ v. Mojsisovics, Tietze und Bittner, »Grundlinien der Geologie von Bosnien-Hercegovina«. Jahrb. d. geol. R.-A. d. Section für Höhlenkunde 1884, Nr. 2, 3 u. 4; 1885, Nr. 1 u. 2; Glasnik zemaljskog museja. (Schriften des bosnisch-herzegovinischen Landesmuseums Jhrg. 1889—1892.) ¹⁰⁾ Tietze, »Geol. Übersicht von Montenegro«. Jahrb. d. geol. R.-A. XXXIV. 1884; Béla von Jukey, »Geol. Reisenotizen von der Balkanhalbinsel«. Földtani Közlöny. XVI. 1886. p. 133; Rovinski, Černogorija, va eja prošlom i nastojašem. I. Bd. 1888. ¹¹⁾ Die Arbeiten von A. Boué, insbesondere »Mineralog. geogr. Detail.« Sitzb. d. k. Akad. ¹²⁾ »Das Königreich Württemberg«. Herausgegeben von dem kgl. statist.-topogr. Bureau. Stuttgart 1882, p. 312.

unterirdischen Flussläufen auf.¹⁾ In den Departements von Lot (Gouffre de Bèdes), Jura, Dôubs, Haute-Saône, Côte d'Or, Aube und Charente kommen zahlreiche Dolinen und Höhlen vor.²⁾

Die Umgebung von Avignon, insbesondere der Mont Ventoux, zeigt zahlreiche Karstphänome: Dolinen, Avens, sources vauclusiennes und Sackthäler wie Sorges.³⁾

Im Departement Yonne kommen die Dolinen in Bathonien, Oxfordien und Corallien vor, sind 10—12 m tief und oft vollständig mit terra rossa erfüllt.⁴⁾

In den Kalken des schweizerischen Jura finden sich Karsterscheinungen.⁵⁾ Das Lojagebirge in Süd-Spanien besteht aus liassischen Kalken und stellt ein echtes Karstgebirge dar. Das blinde Thal von Zaffaraya in diesem Gebirge ist von einem wasserarmen Schlundflüsschen durchflossen. Dieses ganze Gebiet dürfte unterirdisch zum Guadalquivir entwässert werden.⁶⁾ Die Höhle Kirkdale in Yorkshire in England befindet sich im Jurakalk.⁷⁾ Die todtten und blinden Thäler, dann die Höhlen und Wetterlöcher der fränkischen Alb sind in jurassische Kalksteine, insbesondere in Felsen (Marmor-)Kalke und Frankendolomit eingesenkt.⁸⁾

Bei Battenau, östlich von Geißlingen, auf der Alb kommen große Dolinen vor, welche eine Länge von 1 km besitzen. Es wird auch eine »Mulde« erwähnt, welche weit größere Dimensionen zeigt und poljeähnlich aussehen dürfte.⁹⁾

In der Oolithformation des Jailagebirges auf Krim sind zahlreiche oft große Dolinen und Höhlen verbreitet.¹⁰⁾

Kreide. Die untere und mittlere Kreide ist in England bekanntlich durch Glaukonitmergel (Lower and upper greensand), die obere durch die Schreibkreide vertreten, welche oft durch die tertiären Sande und Thone verdeckt ist. In der Schreibkreide sind Sand and gravel pipes eingesenkt, stellenweise aber kommen hier auch Dolinen (Swallow holes) vor. Dieselben Charaktere zeigt die Kreide des Pariser Beckens. Von England und Frankreich aus lässt sich dieser Typus der Kreideformation durch Belgien, Westphalen, das nordwestliche Deutschland, Oberschlesien, Polen und Galizien verfolgen. Oft ist dieselbe durch tertiäre und diluviale Bildungen überlagert. Wie dargelegt wurde, treten in dieser Kreide geologische Orgeln auf. Die südliche Facies der Kreideformation ist durch Caprotinen- und Rudistenkalksteine vertreten; sie ist durch intensivste Entwicklung des Karstphänomens ausgezeichnet, so dass auf ein Gebiet der südlichen Kreide zuerst der Name Karst angewendet

¹⁾ Martel, »Les nouvelles grottes des Cévennes«. Bull. de la Soc. Lauguedocienne de géographie 1889. T. XII. I und II. Trimestre. — »Sous terre«. Revue de géographie Decembre 1889, p. 426. — »Les Cévennes«. p. 359. — »Annuaire du Club Alpin Franç«. 1890. XVII, p. 166. — De Launay et Martel, »Note sur quelques questions relatives à la géol. des grottes et des eaux souterraines«. Bull. de la Soc. géol. de France. XIX. 1891, p. 142. ²⁾ Daubrée, »Les eaux souterraines«. I. p. 296, 304, 345. ³⁾ Charles Lenthéric, »Le Rhône«. II. p. 196—209. ⁴⁾ Van den Broeck, »Les phénomènes d'altération«. p. 56. ⁵⁾ Siegfried, »Der schweizerische Jura«. Zürich 1851, p. 124, 126, 143 und weiter Daubrée, »Les eaux souterraines«. I. p. 345. ⁶⁾ Fouqué, Michel Lévy etc. »Mission d'Andalousie«. »Études relatives au tremblement de terre«. »Mémoires présentés par divers savants à l'academie des sciences«. III. 1889, p. 521. ⁷⁾ Boyd Dawkins, »Die Höhlen und die Ureinwohner Europas«. ⁸⁾ Gumbel, »Geognostische Beschreibung der fränkischen Alb. (Frankenjura) mit dem anstoßenden fränkischen Keupergebiete 1891, p. 45, 46. ⁹⁾ »Das Königreich Württemberg«. p. 312. ¹⁰⁾ Toula, »Eine Krimreise«. Deutsche Rundschau f. Geographie u. Statistik. XI. 8, 1889, p. 349; die Karte von Oberst Betew von 1855. Bl. NO, A2.

wurde. Bereits in Süd-Frankreich, insbesondere im Flussgebiete der Garonne tritt diese Facies der Kreideformation auf und ist auch dort durch typische Karsterscheinungen charakterisiert.¹⁾

In den Seealpen²⁾, sowie auch im ganzen Zuge der nördlichen Kalkalpen ist die Kreide namentlich durch Caprotinenkalksteine vertreten, welche in der Schweiz nach dem häufigen Vorkommen von Karren (Schratten) auch Schrattenkalk heißen. Neben dem Hochgebirgskalk, welcher der oberen Juraformation angehört, kommen die Karren auf cretacischen Seewerkalken vor. Zahllose Dolinen durchlöchern die Oberfläche des Kreidekalkes in der Sette Comuni im Veronesischen, wo sie Buso heißen. Ebenso finden sie sich auf dem Südgehänge des Monte Baldo (nördlich Caprino).³⁾ In den Südalpen, Krain, Istrien und Dalmatien ist die untere Kreide als Caprotinen-, die obere als Rudistenkalk entwickelt. Dieses Gebiet, welches gewöhnlich Karst genannt wird, verdankt seine ganze Oberflächengestaltung dem Karstphänomen. In denselben Kalksteinen treten auch die Karsterscheinungen von West-Bosnien und der Hercegovina auf. Die NW—SO streichende Zone der Rudisten- und Nummulitenkalksteine setzt sich von Idria aus bis in den Peloponnes fort. A. Boué beschreibt oft Karsterscheinungen in Macedonien, Albanien, Epirus und Akarnanien; über jene von Mittel-Griechenland und Peloponnes besteht eine reiche Literatur, welche bereits erwähnt wurde. Die adriatischen, sowie auch die jonischen Inseln sind durch mannigfaltige ausgeprägte Karsterscheinungen ausgezeichnet.

Auf der Insel Leukas zeigen sich dieselben in den oberen Kalken der Kreideformation.⁴⁾ In den Rudistenkalken der Insel Corfu, insbesondere auf dem Hochplateau von Pantokrator, kommen Tausende von Dolinen vor.⁵⁾ Durch mannigfaltige Karstphänomene sind auch die Inseln Kephallenia, Ithaka⁶⁾ und Zante⁷⁾ ausgezeichnet. In den cretacischen und eocänen Kalksteinen von Lykien kommen große Dolinen, blinde Täler und Poljen vor.⁸⁾ In den horizontalen, obercretacischen Kalksteinen des Libanon sind die Dolinen massenhaft verbreitet.⁹⁾ In ganz Palästina sind Höhlen eine bekannte Erscheinung; außerordentlich zahlreich sind dieselben in der Wüste Juda, besonders im Kudronthale und auf dem Karmel.¹⁰⁾ In Syrien sind auch viele Höhlen bekannt.¹¹⁾

Die im südlichen Typus entwickelte Kreideformation der Banater Gebirge, in Serbien und Bulgarien weist analoge Erscheinungen auf. In den Caprotinenkalksteinen der Banater Gebirge kommen Karstformen, insbesondere in der Umgebung von Mocseris, Lapušnik und Bucsava vor.¹²⁾ Auch die enormen Kalktuffablagerungen daselbst stehen mit diesen

¹⁾ Fournet, »Hydrographie souterraine«. 1858. — Daubrée, »Les eaux souterraines«. I. p. 315. — Virlet, »Des Cavernes, de leur origine et de leur mode de formation. Avesnes 1836«, wo besonders die Höhlen und Dolinen in Franche-Comté berücksichtigt sind, p. 7. — Charles Lenthéric, »Le Rhône«. II p. 20, 196, 209 und weiter. ²⁾ Daubrée, »Les eaux souterraines«. I. p. 316. ³⁾ Foglio 48 und 36 der italienischen Specialkarte 1:25.000. ⁴⁾ Partsch, Ergänzungsheft 95 zu Petermann's Mitth. 1889. ⁵⁾ Partsch, Ergänzungsheft 88 zu Peterm. Mitth. 1887, p. 10, 15, 16, 18. ⁶⁾ Partsch, Ergänzungsheft 98 zu Peterm. Mitth. 1890, p. 6, 12, 17, 19, 20, 22. ⁷⁾ Partsch, »Die Insel Zante«. Peterm. Mitth. 1891 p. 164, 165 u. 167. ⁸⁾ Spratt, »Travels in Lycia«. London 1847. II. p. 166 und 185. — Tietze, Jahrb. d. geol. R.-A. 1885, p. 298, 313, 314, 340 u. w. ⁹⁾ Diener, »Der Libanon«. 1886, p. 211. — Day, »Funnel holes on Libanon geol. Mag.« 1891, p. 9. ¹⁰⁾ O. Ankel, »Grundzüge der Landesnatur des West-Jordanlandes«. 1887, p. 55. ¹¹⁾ Daubrée, Op. cit. I. p. 365. ¹²⁾ Böckh, »Geol. Notizen von der Aufnahme des Jahres 1882 im Comitate Krasso-Szörény«. Földtani Közöny 1881, p. 303.

Erscheinungen in Beziehung.¹⁾ In Ost-Serbien begegnet man Dolinen, großen Höhlen (auch fünf Eishöhlen), blinden Thälern u. s. w.; in den Caprotinen- und Rudistenkalksteinen der Omolje-, Kucaj-, Srvljig- und Sucha-Planina.²⁾ Im Balkan sind ebenfalls Dolinen in Caprotinenkalkstein, und zwar in der Gegend zwischen Nicopoli-Plevna und Jablanica bekannt.³⁾

Auch in Algier fand man Dolinen und kleine Höhlen im Kreidekalk.⁴⁾ In den horizontal gelagerten Kalksteinen aus derselben Epoche befinden sich in der Sahara Höhlen und blinde Thäler, besonders zwischen Mzáb und Mettili,⁵⁾ in den Karstplatten Hamadas verflechten sich Karst- und Wüstenerscheinungen.

Tertiär. In den südlichen Verbreitungsgebieten der Eocänformation sind Karsterscheinungen an die harten, zum Theile krystallinischen Nummulitenkalksteine geknüpft. In Krain, insbesondere aber im Gebiete von Triest zeigen sich die interessantesten Karstgebilde in den Nummulitenkalksteinen; auch in Dalmatien, Albanien, Griechenland und auf den jonischen Inseln sind Nummulitenkalksteine oft die Träger von Karsterscheinungen; dasselbe ist der Fall in Kleinasien und Persien. Überall dort sind Nummulitenkalksteine mit Rudistenkalksteinen eng verbunden, und wie sie durch Dolinen und Poljen ausgezeichnet.⁶⁾ In ihren nördlichen Verbreitungsgebieten ist die Eocänformation durch Sande und Thone vertreten; wie dargelegt wurde, füllen dieselben die in der Senonkreide dieser Gebiete eingesenkten geologischen Orgeln aus. Die einzige Facies, welche die Bildung von geologischen Orgeln im nördlichen Eocän gestattet, ist bekanntlich die der Grobkalke von Paris, welcher von puits naturels durchlöchert wird. Auch in neogenen Kalken kommen Dolinen vor. Ich habe solche im sarmatischen Kalksteine in der Umgebung von Belgrad beobachtet; in einer Zone, welche sich von Belgrad nach Süden mehrere Kilometer hinzieht, erscheinen Dolinen verschiedener Formen und Größen (von 5--100 m Durchmesser); im selben Kalksteine befindet sich bei Sremčica eine Höhle. Die porösen Leitha- und Cerithienkalke bei Zsambek, bei Mány, Tinge u. s. w. in Ungarn, zeigen Karstphänomene.⁷⁾

Bei Gerace in Süd-Italien hat Th. Fuchs⁸⁾ Vertiefungen in Bryozoenkalken beobachtet, welche zu den geologischen Orgeln oder sand pipes zu gehören scheinen. Im miocänen Kalksteine der Insel Malta und Gozzo kommen pot holes mit rothem Lehm erfüllt, dann viele Knochenbreccien enthaltende Höhlen vor; auch sand pipes wurden beobachtet.⁹⁾ Im oberen Laufe des Guadianaflusses in Spanien dürften

¹⁾ Tietze »Geol. und paläont. Mitth. aus dem südl. Theile des Banater Gebirgsstockes«. Separatabdruck aus dem Jahrb. d. geol. R.-A. p. 35. ²⁾ J. Cvijić, »Das Karstphänomen in Ost-Serbien«. 1889, Belgrad (in serbischer Sprache). »Die Prekonoger Höhle«. Annales géol. de la Péninsule Balkanique. T. III. 1891, p. 159. »Geographische Untersuchungen im Kucajgebirge Ost-Serbiens«. Ann. géol. T. V. ³⁾ Fötterle, Verhandl. d. geol. R.-A. 1869, p. 194, Jireček, »Das Fürstenthum Bulgarien«. p. 501) erwähnt eine Doline am Rilogebirge, welche unterirdisch entwässert wird (Sucho jesero); sie dürfte aber im krystallinischen Kalksteine gelegen sein. ⁴⁾ Daubrée, »Les eaux souterraines«, I. ⁵⁾ M. G. Rolland, »Bull. de la Soc. géol. de France«, IX. 1881, p. 517. — »Géologie du Sahara Algérienne« Planches. ⁶⁾ Die einzige mir bekannte Beobachtung, welche davon eine Ausnahme macht, ist jene von Diener; nach ihm (»Der Libanon«, p. 212) beschränken sich die Dolinen auf die Schichtgruppe des Libanon (Kreide) Kalkes, im eocänen Kalksteine fehlt jede Art von Dolinen. ⁷⁾ Peters, »Geol. Studien aus Ungarn«. III. Jahrb. d. geol. R.-A. 1859, p. 483, 488. ⁸⁾ Th. Fuchs, »Geolog. Studien in den Tertiärbildungen Süd-Italiens«. Aus den Sitzb. d. k. Akad. der Wissenschaften. LXVI. I. Abth., Juniheft 1872, Tafel VII, Fig. I. ⁹⁾ Adams, »Note of a Naturalist in the Nile Valley and Malta«. Edinburgh, 1870, p. 169—177, 178 u. 180. — Fuchs, »Das Alter der Tertiärschichten von Malta«. Sitzb. der k. Akad. d. Wissensch. LXX. 1874. p. 3.

dolinenähnliche Vertiefungen und unterirdische Wasserläufe im tertiären Kalksteine vorkommen.¹⁾ Im westlichen Theile des Agramer Gebirges trifft man Dolinen im sarmatischen Kalksteine, dann solche, welche an der Grenze derselben und der Dolomitkalke der Kreideformation liegen; zu den letzten gehört die große Doline, welche gleich jener bei Fiume Ponikva genannt wird.²⁾ Bei Schumacha am Südfuße des östlichen Kaukasus zeigen tertiäre Kalksteine, welche auf dem blauen Mergel liegen, ausgesprochenste Dolinenbildung.³⁾ Der tafelförmige Berg Opuk an der Südküste der Krim hat im Kalksteine von Kertsch (meotische Stufe) zahlreiche kleine Dolinen. Die Dolinen sind hier so zahlreich, dass Andrussov, welcher uns diese Beobachtung mitgetheilt hat, an die Oberflächengestaltung des jurassischen Catirdagh erinnert wurde. Im miocänen gelben krystallinischen Kalksteine (yellow limestone) der Insel Jamaika befinden sich Dolinen (cockpits) und blinde Thäler.⁴⁾ Zahlreicher sind alle Karstphänomene in einem spröden, lichten Kalkstein (White Limestone) vertreten, welcher mehr als die Hälfte der Insel einnimmt und eine große Mächtigkeit erreicht. In diesem schwach welligen Gesteine, das Sawkins noch zum Tertiär zählt, fand man Dolinen verschiedener Formen (cockpits, sink holes, light holes), blinde Thäler und Poljen. Die Karstphänomene sind auf der Insel Jamaika so mannigfaltig entwickelt, dass dieses Gebiet ein Seitenstück zu den stark verkarsteten aus Kreide und Eocänenkalksteinen zusammengesetzten Ländern des adriatischen Karstes bildet.⁵⁾ Ähnliche Phänomene zeigt auch die Insel Cuba.⁶⁾

Das Quartär. Die Dolinen senken sich in quartäreren Kalktuff von Montagnola Senese in Italien ein; einige derselben erreichen einen Durchmesser von 60–100 m.⁷⁾

Von besonderer Bedeutung sind die auf gehobenen Korallenriffen auftretenden Karsterscheinungen.

Die Kalke dieser Riffe sind oft ebenso permeable wie die des Karstes: das ganze Niederschlagswasser fließt in die Fugen und Klüfte im Korallenkalke ein.⁸⁾ Die Bäche und Quellen fehlen meist auf ihnen vollständig, man fängt das Regenwasser in Cisternen auf.⁹⁾

Gehobene Korallenriffe sind höhlenreich. Die Höhlen liegen theilweise unter dem Meeresniveau und sind oft mit Sinterablagerungen ausgekleidet. Der Höhlenreichtum ist charakteristisch für die Bermudasinseln; die Höhlen, welche meist unter dem Meeresniveau liegen, enthalten Salzwasserteiche und Tropfsteingebilde. Eine auf der Insel Somerset hat 500 m Länge bei 25 m Höhe; dolinenähnliche Gebilde auf der Oberfläche werden mit ihr in Beziehung gebracht.¹⁰⁾ Ebenso sind die Bahamasinseln durch zahlreiche Höhlen ausgezeichnet.¹¹⁾ In der Klippenwelt des Kokeal (Palaugruppe) sind viele Höhlen constatirt.¹²⁾

¹⁾ Willkomm, »Die Quellen der Guadiana«, Zeitschr. f. wissensch. Geogr. V. 1885, p. 29 u. 30. ²⁾ Dr. Gorjanović, »Die Karsterscheinungen im westlichen Theile des Agramer Gebirges«, Kroatische Revue I, 1882. ³⁾ Tietze, »Zur Geol. der Karsterscheinungen«, Jahrb. d. geol. R.-A. XXX, p. 741. ⁴⁾ Sawkins, »Geol. of Jamaika« p. 255. ⁵⁾ Sawkins, Op. cit., p. 22 u. a.; de la Beche, Manual geol. p. 61. ⁶⁾ Suess, »Das Antlitz der Erde«, I, p. 703. ⁷⁾ Lotti, »Nuove Osservazioni sulla geol. della Montagnola Senese«, Boll. com. geol. d'Italia, 1888, p. 359, 360. ⁸⁾ Nilson, »On the geol. of the Bahamas, and on Coral-Formations generally«, Quaterly Journ. geol. Soc. of London, 1853, p. 205. ⁹⁾ Krümmel, »Über die von der Plankton-Expedition besuchten atlantischen Inseln«, Verh. d. Gesellch. f. Erdkunde 17, p. 492. ¹⁰⁾ Krümmel, l. cit.; J. J. Rein, »Die Bermudasinseln und ihre Korallenriffe«, Verh. des ersten deutschen Geographentages, p. 34. ¹¹⁾ Nilson, Op. cit., p. 203 u. 205. Joh. Walther, Ergänzungsheft N. 102 zu Petermanns Mitth. 1891, p. 32. ¹²⁾ Joh. Walther, Op. cit., p. 32.

Das Korallenriff Oahu enthält viele horizontale Höhlen mit unterirdischen Quellen und Bächen; den letzteren und dem Sickerwasser verdanken die Höhlen nach Dana ihre Entstehung.¹⁾ Auf der Insel Atiu (Hervey-Gruppe) befinden sich ebenfalls viele Höhlen. Die Metia (Pautotusgruppe) besitzt Höhlen mit großen und dichten Stalaktiten. Hier treten auch die Strandhöhlen auf,²⁾ welche durch die chemische Erosion des Meereswassers entstanden sind. Auf Florida (Salomongruppe) befindet sich eine große vom Wasser durchströmte Höhle.³⁾ Auch auf dem Korallenriffe Lifu (Loyalty-Gruppe) sind Höhlen beobachtet worden.⁴⁾

Dolinen konnte man oft auf den Korallenriffen nachweisen. Swallow holes sind auf den Koralleninseln Ugi und Florida (Salomongruppe) bekannt geworden.⁵⁾ Auf den Koralleninseln der Bahama-Gruppe kommen Pot holes vor.⁶⁾

Chambeyron beschreibt auf dem Korallenriffe Ich-Hingen eine brunnenförmige Vertiefung, welche Süßwasser enthält. In Neu-Kaledonien gibt der Fluss Toutouta sein Wasser an porösen Korallenkalk ab.⁷⁾ Die Bermudasinseln sind durch unzählige Löcher ausgezeichnet.⁸⁾ Rother Lehm ist in sink holes und pot holes der Korallenriffe oft constatirt worden.⁹⁾ Viele Swallow-holes und brunnenförmige Vertiefungen (Wells) sind auf den Barbadosinseln beobachtet worden.¹⁰⁾

Große poljenähnliche Depressionen hat Lister auf den Tongainseln gefunden, wie z. B. auf dem Riffe Eua.¹¹⁾ Insbesondere die nördlichen Inseln der Tonga-Gruppe, die sogenannten Vavauinseln, welche bloß aus Korallenkalken zusammengesetzt sind, zeigen in der Regel in ihrer Mitte eine flache Wanne, welche vom höheren Rande umsäumt wird. Eine solche Structur zeigt z. B. die Insel A'a. Die centrale Wanne hat eine ovale Gestalt mit einer Länge von circa 1500 m und einer Breite von circa 1000 m. Die Umwallung, welche die Wanne einschließt, besteht aus nacktem Korallenkalke und liegt 30 m über dem Meeresspiegel, der Boden besteht aus braunem Lehm und liegt circa 10 m über dem Meeresspiegel.¹²⁾

Hinsichtlich dieser auf jungen Korallenkalken vorkommenden Karsterscheinungen muss bemerkt werden, dass dieselben keineswegs ausschließlich wie die der eigentlichen Karstländer secundären Ursprungs sind, sondern theilweise auch primär während der Ablagerung des Kalkes entstanden sind.

Ein lebendes Korallenriff hat in seinem Innern vielfach Hohlräume, welche als Lücken zwischen den einzelnen Stöcken bestehen bleiben, wie dies namentlich die Korallenriffe der Chapeirõesstructur zeigen.¹³⁾

Diese Hohlräume öffnen sich nach oben vielfach durch Canäle, welche als Blow holes mehrfach beschrieben sind. Die von der Brandung überspülte Außenseite der Riffe wird oft vom Wasser karrenähnlich

¹⁾ Dana, »Corals and Coral Islands«. London 1875, p. 310. ²⁾ Dana, l. cit. ³⁾ Walter, Op. cit., p. 33. Eine eingehende Beschreibung dieser Höhle bei Guppy (the Salomon Islands 1887, p. 26, 27, 28); in der Gruppe der Salomonsinseln sind auch zwei große Höhlen in Atol Oima und eine auf der Insel Ugi von Guppy untersucht worden. (p. 43 u. 87.) ⁴⁾ Chambeyron, »Note relative à la Nouvelle Calédonie«. Bull. de la Soc. de géographie 1875, p. 565. ⁵⁾ Guppy, »The Salomon Islands«, p. 29 u. 88. ⁶⁾ R. J. Nelson, »On the Geology of the Bahamas and on Coral-Formations Generally«. Quaterly Journal geol. Soc., vol. IX, 1853, p. 205. ⁷⁾ Chambeyron, Op. cit., p. 565. ⁸⁾ Krümmel, l. cit. ⁹⁾ Nelson, l. cit., p. 208. ¹⁰⁾ Jukes Browne and Harrison, »The Geology of Barbados«. Quaterly Journ. 1891, p. 197. ¹¹⁾ J. J. Lister, »Notes on the Geology of the Tonga Islands«. Quat. Journal, Lond. geol. Soc. XI.VII. 1891, p. 601. ¹²⁾ Lister, Op. cit., p. 609. ¹³⁾ Hartt, »Geol. and physikal. geogr. of Brazil 1870«. p. 199.

zerfressen. Vor allem aber ist zu erwägen, dass die Korallenriffe randlich aufwachsen und die in ihrer Mitte gelegenen Wannenumwallen, wie dies namentlich die Atolle mit ihren Lagunen zeigen.

Denkt man sich nun ein solches Korallenriff gehoben, so werden die Hohlräume zu Höhlen, die Schlote erscheinen wie Dolinen, die abgespülte Außenseite des Riffes hat Ähnlichkeit mit einem Karrenfeld, die vom Riffe umwallte Wannè mit einem Polje.

So ist dann in diesen Fällen denkbar, dass neben dem von uns untersuchten secundären Karstphänomen ein primäres vorkommt, das sich unmittelbar an die Ablagerung des Kalkes knüpft.

Inwiefern nun dieses primäre Karstphänomen unter den letztangeführten Beispielen entwickelt ist, haben weitere Untersuchungen zu zeigen.

Von den Höhlen werden als primär beschrieben die des Kokeal in der Palaugruppe und viele der Bahamainseln. Von den Wannensind jene auf den Tongainseln zweifellos primär.

Angesichts dieser Thatsachen kann sich wohl die Frage erheben, inwiefern das Karstphänomen überhaupt eine primäre Erscheinung ist. *Walther*¹⁾ ist der auch sonst schon geäußerten Ansicht,²⁾ dass manche Höhlen, wie z. B. die des Frankenjura primäre Gebilde sind.

Natürlich kann diese Muthmaßung sich nur auf die Karsterscheinungen in den Riffkalken älterer geologischen Systeme, nicht aber auf die geschichteten Kalke beziehen; diese aber sind Hauptträger des Karstphänomens und bei ihnen ist das Auftreten eines primären Karstphänomens undenkbar. Was aber die älteren Korallenkalke anbelangt, so muss im Auge behalten werden, dass jenes Korallenriff, welches gehoben wird und dessen Karsterscheinungen primär sind, der Denudation im Allgemeinen zum Opfer fallen wird. Es pflegen sich ja überhaupt nur jene Schichten zu erhalten, die von anderen überlagert wurden. Wird nun ein Korallenriff überdeckt, so werden theils durch Sedimente, theils durch Sickerwasser sich alle seine Hohlräume schließen. Wir glauben daher, dass die älteren Korallenkalke, über welche sich mächtige andere Schichten ablagerten, ihre etwaige vorhandene primäre Höhlen und andere Karstphänomene schon längst verloren hatten, ehe sie zur Oberfläche kamen.

Darnach halten wir das Auftreten des primären Karstphänomens in ganz jungen Korallenkalken für sehr häufig, wogegen wir daran zweifeln, dass in den Kalksteinen älterer Systeme, die erst durch die Denudation bloßgelegt worden sind, primäre Karstphänomene vorkommen.

Aus den angeführten Vorkommnissen des Karstphänomens sind folgende Ergebnisse festzustellen:

I. Die Karstphänome kommen auf Kalksteinen aller geologischen Systeme, von silurischen bis zu den recenten Korallenkalken vor. Sie sind aber in einzelnen Kalkgebieten ihrer Ausbildung und ihrer Häufigkeit nach sehr verschiedenartig vertreten, je nach der Beschaffenheit des Kalksteines und dem Vorhandensein oder der Abwesenheit des losen Materials über demselben. Es lassen sich unterscheiden:

¹⁾ Walther, Op. cit., p. 34. ²⁾ Woods, „Geological Observations in South Australia“. London 1862, p. 61, 63, 98, 322 u. a.

1. Große Häufigkeit und typische Entwicklung der Karstphänomene zeigt nur die Oberfläche des reinen, nackten Kalksteines. Solche Gebiete sind durch das Vorherrschen der Wannenformen und durch alle hydrographischen Eigenschaften ausgezeichnet, welche dem echten Karste eigen sind, wie das Gebiet von Krain, der adriatische Karst, die westliche Hälfte der Balkanhalbinsel mit dem Peloponnes, Ost-Serbien, Süd-Frankreich, Frankenjura, das Plateau des Čatirdagh auf der Krim und die Karstgebiete von Lykien, des Libanon und Antilibanon. In allen diesen Gebieten treten die Karstphänomene in jurassischen, cretacischen und eocänen reinen Kalken auf, seltener in Triaskalken und Triasdolomiten. Der echte Karst ist auch auf Jamaika entwickelt, welches meist aus jungtertiärem Kalke aufgebaut ist.

2. Thonige und merglige Kalksteine, welche noch mit hangenden Sanden und Thonen bedeckt sind, entbehren in der Regel der Karstphänomene; in ihnen treten die Vertiefungen der Karstoberfläche auf, welche mit hangendem Material oder mit Zersetzungslehm meist vollständig ausgefüllt sind, sodass sie nicht auf der Landoberfläche zum Vorschein kommen (geologische Orgeln); nur ausnahmsweise, wenn die Kalkoberfläche entblößt ist, treten einzelne nicht typisch ausgebildete Karstphänomene auf derselben auf. Solche Gebiete können nicht als Karst bezeichnet werden, wie das Kreidegebiet des Londoner Beckens, von Belgien u. a.

3. Den Übergang zwischen beiden ersterwähnten bilden jene Kalkgebiete, welche aus thonigen und mergligen Kalksteinen aufgebaut, aber durch kein fremdes Material bedeckt sind. Die Karstphänomene treten hier selten auf und sind nicht typisch ausgebildet. Die Karren fehlen, die Dolinen sind nahezu vollständig mit Zersetzungslehm erfüllt, versiegende Flüsse sind selten oder fehlen vollkommen. Die Oberfläche des Kalkes zeigt in der Regel eine geringe Permeabilität, nie aber erreicht sie die des echten Karstes. Diese Kalkgebiete machen also den Übergang zwischen dem echten Karste und dem Gebiete der geologischen Orgeln. Zu solchen gehören das mährische Devongebiet, das russische Karbongebiet im Gouvernement Toula u. a.

II. In den horizontal gelagerten obercretacischen Kalken der großen Wüstentafel von der Sahara, Syrien und Palästina kommen alle Karsterscheinungen mit Ausnahme von Poljen vor. Die Insel Malta, welche Dolinen und Höhlen in horizontal geschichteten tertiären Kalksteinen zeigt und ein Stück der afrikanischen Tafel darstellt, besitzt keine Poljen. Ebenso treffen wir in Süd-Australien alle Formen von Dolinen, Höhlen und Karsthäler in horizontal gelagerten cretacischen Kalksteinen, welche das gefaltete Culmgebirge überlagern. Nach Woods kommen dort auch große Wannen vor, welche er mit den griechischen Poljen vergleicht. In der brasilischen Masse sind nur Höhlen und Dolinen in dyadischen und devonischen Kalksteinen bekannt; dieselben Karsterscheinungen zeigt das Prairieland zwischen den Alleghanies und Rocky Mountains in Nordamerika. In horizontal gelagerten Kohlenkalken des Kaibabplateau, welches durch Tafelbrüche (»monoclinal flexures«) begrenzt und von vielen kleinen durchsetzt ist, kommen Dolinen und Höhlen vor; im De Motte Park dürften hier poljeähnliche Wannen vertreten sein. Ebenso sind die Tafelländer und die Platten mit horizontal liegenden Schichten in Europa durch alle Karsterscheinungen mit Ausnahme von Poljen charakterisiert, so die russische Tafel, die baltische Kreideprovinz, die horizontal gelagerten Kohlenkalke von Irland u. a.

Auch die horizontal gelagerten Kalke des fränkisch-schwäbischen Jurazuges und die Causses der Cevennen entbehren der Poljen.

Alle Karstphänomene, mit Ausnahme von Poljen, kommen also sowohl in horizontal gelagerten, als auch in dislocierten Karstgebieten vor. Die Poljen fehlen in den Tafelländern vollständig und sie sind im Allgemeinen auf dislocierte Karstgebiete beschränkt. In großer Häufigkeit und typischer Ausbildung kommen sie im ganzen Dinarischen Bogen, von Laibach bis zum Peloponnes, dann im taurischen Faltengebirge, insbesondere in Lykien, sowie auch in den antilischen Cordilleren (Jamaika) vor. Seltener sind sie im Faltenjura vertreten. In seiner Gesamtheit kann man daher das Karstphänomen nicht auf tektonische Bewegungen zurückführen.¹⁾

III. Die Gebiete intensiver Karstentwicklung gehören in die Zone mit periodischem Regenfall. Der adriatische und südfranzösische Karst sind durch Herbst-, der erstere insbesondere durch Octoberregen charakterisiert. Die Karstgebiete von Griechenland, Syrien und Palästina gehören in das Gebiet der subtropischen Winterregen, Die Insel Jamaika ist durch eine Trocken- und eine Regenzeit charakterisiert. Alle erwähnten Gebiete sind aber auch durch das häufige Vorkommen von reinen Kalken ausgezeichnet, sodass man nicht unbedingt den periodischen Regenfall mit der intensiven Entwicklung des Karstphänomens in Zusammenhang bringen kann. Wahrscheinlich beeinflusst der periodische Regenfall nur mittelbar die Intensität des Karstphänomens, indem er die Bildung einer Ackerkrume über dem nackten Kalksteine verhindert, wie dies im Capitel über die Dolinenbildung dargelegt wurde. Zweifellos ist, dass eine große Niederschlagsmenge die Entwicklung des Karstphänomens begünstigt. Die Karstphänomene sind im adriatischen Karste weit intensiver ausgeprägt, als in den niederschlagsarmen Karstgebieten Griechenlands, welche sonst ihrem Aufbau nach dem adriatischen Karste ähnlich sind.

¹⁾ Letzteres ist z. B. die Meinung von Stache. Derselbe schreibt: »Alle Erscheinungen und Formen, welche sich dem Haupttypus der großen Längsspalten des Kreidegebirges anschließen, sind begreiflicherweise gleichzeitige und denselben Ursachen entspringende Wirkungen, wie diese. Nicht leicht sind auch für die Bildung der zahlreichen, unregelmäßig vertheilten, mehr localen Abweichungen und Unterbrechungen, wie stärkere Überkippungen oder wirkliche Überschiebungen, Einsenkungen und Trichter, Schlünde und Löcher, Höhlen, Klüfte und Spalten die ersten Ursachen anderswo zu suchen, als in den bewegenden Kraftäußerungen dieser Zeit.« (Österr. Revue 1864, Bd. VI. p. 172.)

INHALT.

	Seite
Einleitung	1— 4
I. Karren	5— 9
II. Die Dolinen	9— 10
A. Definition und Name.	9
B. Die Formverhältnisse der Dolinen.	10
1. Die normalen Verhältnisse.	10
2. Abweichungen von den normalen Grössen- und Formverhältnissen	14
3. Böschung der Dolinengehänge	16
4. Boden und Ausfüllung der Dolinen	17
5. Schlote.	24
6. Schutt- und Trümmerkegel in Schloten	31
7. Schwemmlanddolinien.	35
8. Das Verhältnis der Dolinen zu den Höhlen.	41
C. Locale Vertheilung und Anordnung der Dolinen	44
D. Das Verhältnis der Dolinen zu den geologischen Orgeln	47
E. Bildung der Dolinen	51
1. Ältere Ansichten über die Bildung der Dolinen	51
2. Thatsachen zur Würdigung der Einsturztheorie	54
3. Bildung der echten Dolinen	56
4. Die Bildung der Avens, Light holes und Dolinen vom Trebiötypus.	59
Morphologische und genetische Dolinentypen	61
III. Karstflüsse	62— 67
IV. Karsthäler	67— 75
a) Sackthal.	68
b) Blindes Thal.	69
c) Halbblindes Thal.	69
d) Trockene Thäler	70
V. Die Poljen	75— 98
A. Definition, Name, Flächeninhalt	75
B. Gestalt und Dimensionen	77
C. Hydrographischè Verhältnisse	81
1. Die trockenen Poljen	81
2. Die periodisch inundierte Poljen	81
3. Seepoljen.	86
4. Flüsse, Quellen, Ponore und Estavellen.	89
5. Die Inundation der Poljen.	91
6. Die Eintrittszeit und Dauer der Inundation.	94
D. Geologische Struktur und Entstehung.	95
VI. Die adriatische Karstküste	98—103
VII. Die Verbreitung des Karstphänomens	103—113