

102329.

Referat Schollmayer-Lichtenberg.

Als Manuskript gedruckt.

VIII. Internat. Landwirtschaftlicher Kongress Wien 1907.

Sektion V, Referat 2/a.

### Wasserversorgung im Karstgebiete.

Von E. Heinrich Schollmayer-Lichtenberg, Generalbevollmächtigter des Fürsten  
Schönburg-Waldenburg in Schneeberg, Krain.

#### Einleitung.

Um die Frage der Wasserversorgung im Karstgebiete einer, durch den gegebenen Rahmen des Referats zwar beschränkten, in ihrer Kürze jedoch möglichst eingehenden Erörterung zuführen zu können, erscheint es notwendig den Stoff so anzuordnen, daß der erste Teil desselben Aufschluß gibt, wo sich Karstgebiete befinden, welche dieser im vorliegenden Referate in erster Reihe in Betracht gezogen und warum gerade diese hiezu ausgewählt wurden.

Der zweite Teil bringt die Erklärung, warum gerade diese Gebiete die sogenannten Karsterscheinungen zeigen, deren vornehmlichste eine: „Trockenheit auf der Oberfläche, Reichtum an Wasser im Innern der Gebirge“ ist; schließlich soll der dritte Teil in Kürze die Mittel dartun, welche zur Wasserversorgung auf dem Karste geeignet erscheinen und diese in einer kürzeren Übersicht zusammenfassen.

Diesen Gesichtspunkten zufolge ist die Behandlung der vorliegenden Frage in drei Abschnitte eingeteilt:

- I. Geographisch-topographischer Teil;
- II. Geologisch-morphographischer Teil;
- III. Technischer Teil.

Die Karstfrage im allgemeinen und im speziellen ist in der Literatur vielfach, von den verschiedensten Gesichtspunkten aus behandelt worden und die Zahl der Schriften hierüber ist eine ganz beträchtliche. Vieles ist in periodischen Druckschriften enthalten, somit oft schwer aufzufinden und schwer zugänglich; viele Abhandlungen



FXC 4890/1954

102329

und Werke sind ganz vergriffen, nur noch in Bibliotheken zu finden und vor allem fehlt es an einem Verzeichnis der einschlägigen Literatur.

Der Gedanke lag nahe, die in diesem Referat mitbenutzte Karstliteratur in einem Verzeichnis festzulegen und dieses durch Beifügen auch der nichtbenützten Karstliteratur möglichst zu vervollständigen um wenigstens den Anfang eines Leitfadens für die zerstreute Karstliteratur zu bilden.

Auf Vollständigkeit macht dieses Literaturverzeichnis keinen Anspruch und kann ihn nicht machen; sollte es jedoch als zuweit gegangen erscheinen, so möge dies nicht nur der dringenden Notwendigkeit eines solchen, sondern auch meiner Achtung vor dem Geschaffenen, vor jedweder geistiger Arbeit zugute gehalten werden.

Der ganze Komplex der Karstfragen ist relativ noch im Jugendalter, er gährt und klärt sich noch. Diesem Umstande habe ich voll auf Rechnung getragen und jeder Anschauung freien Raum gelassen, da ich auf keine Theorie eingeschworen bin; andererseits habe ich nicht auf Kritik verzichtet und das Material immer mit meinen tatsächlichen Beobachtungen und der kritischen Zergliederung in Einklang zu bringen gesucht.

### I. Geographisch-topographischer Teil.

Gebiete mit ausgesprochenem oder nur angedeutetem Karstcharakter sind in allen Teilen der Erde zu finden, da die genetischen Ursachen der sogenannten Karstphänomene in den einzelnen Länderstrecken der Erde häufig wiederkehren. Die geologischen Formationen und Schichten, die Geoplastik und Tektonik als endogene und die subaerischen und subterrestrischen, chemischen und physikalischen Einwirkungen als exogenen Ursachen dieser Erscheinungen können in mehr oder minder intensivem Zusammenwirken auf vielen Orten über den ganzen Erdball zerstreut nachgewiesen werden und wo dies geschehen kann, zeigen sich auch in verschiedenen Graden scharf ausgesprochen die Folgeerscheinungen der Verkarstung.

Im nachstehenden sollen nur in großen Umrissen jene europäischen Länder aufgezählt werden, in welchem bislang Karstgebiete und deren Phänomene studiert und beobachtet worden sind, oder deren Vorhandensein in der Literatur erwähnt wurde. Im besondern muß betont werden, daß außerhalb Europa weite Länderstrecken den Karstgebieten zufallen; es würde jedoch der enge Rahmen dieses Referats über-

schritten werden, sollten auch diese zu einer näheren Besprechung mit einbezogen werden. Im beigegebenen Literaturverzeichnis sind jedoch auch jene Schriften angeführt, welche außereuropäische Karstgebiete behandeln.

Nachfolgende Aufzählung nennt die europäischen Karstgebiete, ohne jedoch auf Vollständigkeit Anspruch zu erheben, und ohne Rücksicht darauf, ob das betreffende Gebiet mehr oder weniger verkarstet ist oder die Karsterscheinungen nur rudimentär und teilweise zeigt.

Von Norden nach Süden gehend findet man solche Gebiete:

Zwischen dem 60. und 55. Breitengrad:

auf der Insel Ösel (1)\*, in Livland (1) und Esthland (1) (Rußland) im Silur;  
 bei Nižninowgorod (2), Ufa (2) und Perm (2) (Rußland) im Devon;  
 bei Toulā (3), Rjasan (3) (Rußland) in Nordengland (4) im Kohlenkalk;  
 Yorkshirə (5) (England) im Jura;  
 in England (12) in der Kreide.

Zwischen dem 55. und 50. Breitengrad:

in Mähren (6), Devonshire (5) in England, Belgien (7), im Harz (8), Ebingroder Mulde (8), Hermannshöhle bei Rübeland (8), Biels- und Baumannshöhle (8), Burtscheid (9) im Devon;  
 in Belgien (10) und Irland (11) im Kohlenkalk;  
 in Belgien (12), Westphalen (12), Nordwestdeutschland (12), Oberschlesien (12), Galizien (12), Polen (12) in der Kreide.

Zwischen dem 50. und 45. Breitengrad:

im Totengebirge (13), Dachstein (14), Hagengebirge (15), Tennen-  
 gebirge (15), im steinernen Meer (15), Untersberg (16), in den  
 Julischen Alpen (17) im Dachsteinkalk und Hauptdolomit der  
 Trias;  
 im Dinarischen Binnengehänge (12) (Krain), Velebit (12) und Plješivica  
 (12) (Kroatien) in Hallstädter und Gutensteinerkalken der Trias;  
 in Württemberg (18) im Muschelkalk der Trias:

---

\*) Die beigeetzten eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die Nummern des Literaturverzeichnisses am Schlusse.

in Frankreich (Chausses de Cévennes) (19) und in den Departements Lot (11), Jura (11), Haute-Saône (11), Cote d'Or (11), Aube (11), Charente (11), Avignon (20), Yonne (7), in der Schweiz (21), in der Fränkischen Alb (22), (Battenau, Geißlingen) (18), in der Krim (23) (Jailagebirge [23]) im Jura;  
 im Pariser Becken (12) in der Kreide;  
 bei Begrad (12) und Paris (12), in Ungarn (24) (Leithakalke), bei Agram (25) und in der Krim (12) im Tertiär.

#### Zwischen dem 45. und 35. Breitegrad.

in Bosnien (26), Herzegowina (26), Montenegro (27) (Vir Basar [27]) und Durmitor (27), Albanien (28), Macedonien (28) in der Trias;  
 Südspanien (12) (Lojagebirge) (12) im Jura;  
 in Südfrankreich (29), Seealpen (11a), Italien (12), Veronesische Sette Comuni (12), Monte Baldo (12), Krain (12), Istrien (12), Dalmatien (12), Westbosnien (12), Herzegowina (12), Peloponnes (12), Macedonien (28), Albanien (28), Epirus (28), Mittelgriechenland (12), Adriatische (12), Jonische (12) und Griechische (30 bis 33) Inseln, Banat (34), Serbien (12, 35), Bulgarien (12), Balkan (36) in Caprotinen und Rudistenkalken;  
 in Krain (12), Triester Gebiet (12), Dalmatien (12), Albanien (12), Griechenland (12), Jonische Inseln (12), Süditalien (37), Malta (38), Spanien (39) im Tertiär;  
 in Italien (Kalktuffe von Montagnola Senese) (40) im Quartär.

Vorstehende Übersicht zeigt, daß sich die Karstgebiete Europas hauptsächlich südlich des 45. Breitegrades einerseits und anderseits auf die jüngeren Formationen von der Trias aufwärts, hauptsächlich in cretacischen und eocänen Kalken, zusammendrängen. (Geographische und geologische Lokalisierung.)

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, Ostserbien, Südfrankreich, Frankenjura und das Plateau des Čatirdagh auf der Krim. In allen diesen Gebieten treten die Karstphänomene in jurassischen, cretacischen und eocänen reinen Kalken auf, seltener in Triaskalken und Triasdolomiten. Die südliche Fazies der Kreideformation

ist durch Caprotinen- und Rudistenkalksteine vertreten; sie ist durch intensive Entwicklung des Karstphänomens ausgezeichnet, so daß auf ein Gebiet der südlichen Kreide zuerst der Name „Karst“ angewendet wurde (12).

Dieses Gebiet, welches durch die alte Verkehrsstraße zwischen Triest und dem krainischen Hinterlande und durch die Eisenbahnstrecke Laibach—Triest (Südbahn) durchquert wird, führt den Namen „Karst“ als altherkömmliche topische Bezeichnung (41).

(Deutsch: Karst, slovenisch: Kras, kroatisch: Krs, italienisch: craso.)

Einschließlich der Alluvialböden (Täler und Becken) jedoch ausschließlich der nicht karstbildenden Gesteinsarten umfaßt der Karst in der österreichisch-ungarischen Gesamtmonarchie eine Fläche von rund 772 geographischen Quadratmeilen, wovon auf das Küstenland 72 Quadratmeilen, auf Krain 31, Dalmatien samt den Inseln 192, Kroatien 177, auf Bosnien und Herzogowina zirka 300 Quadratmeilen entfallen. Zisleithanien besitzt einschließlich des unproduktiven Bodens zirka 300 geographische Quadratmeilen Karstboden, oder wenn man die dazwischen liegenden anderen Formationen hinzurechnet, 406 Quadratmeilen Karstländer (42).

Für den Rahmen dies Referats ist es jedoch notwendig, noch weiter zentripetal vorzugehen und ein geographisches Epizentrum aufzusuchen, welches in möglichst bester Weise das Substrat für die Behandlung aller Karstfragen bietet.

In dem krainisch-istrischen Gebirgsabschnitt des Küstenlandes, welcher aus fünf Hauptgliedern besteht, wird solch ein Zentrum gefunden.

Diese Gebirgshauptglieder sind:

- der Scheeberger Wald- und Hochkarst, dessen Hochkämme von 1200 bis zu 1800 Meter Seehöhe (Schneeberge) reichen;
- das Flyschgebirge der Reka-Mulde, dessen Hauptrücken sich zwischen 600 und 800 Meter halten;
- der stark gefaltete Tschitschen-Karst mit seinem vom Slavik mit 1029 Meter zum Sia mit 1234 Meter südöstlich streichenden Hauptrücken, dessen nach Süd abgedrehte Fortsetzung im Monte Maggiore bis 1396 Meter ansteigt;
- das Flyschgebirge von Triest-Pisino mit Erhebungen der Hauptrückenlinie zwischen 300 und 500 Meter;
- endlich das flachwölbige südistrische Karstland, dessen aufgebrosene Wölbungszone in dem mittleren Hauptstück, zwischen Quieto und Arsa-Spalte, parallel zur Grenze des Flyschgebietes

zwischen 300 und 450 Meter liegt und dessen breite Flanke bis zu den Hügeln der Küstenzone, welche einen Wechsel von Steilabbrüchen und Muldenverflachung gegen das Meer darbietet, auf 60 bis 20 Meter Seehöhe abdacht (41).

Die Erscheinungen, welche die Oberflächengestaltung der Kalkgebirgsglieder der drei tektonischen Hauptstufen des Küstenlands und deren innere Struktur in auffallender Weise kennzeichnen, sind innerhalb dieser Gebirgszonen bei bestimmten Abschnitten in besonders kräftiger und mannigfaltiger Weise zum Ausdruck gekommen. Unter diesen Gebieten nimmt dasjenige einen hervorragenden Rang ein, welches schon erwähnt wurde und die altherkömmliche topische Bezeichnung „Karst“ führt.

Die Übertragung dieser Bezeichnung auf physiognomisch und morphologisch analog gestaltete Gebirgsabschnitte hat mit der geologischen und topographischen Untersuchung Schritt gehalten; es hat in der Wissenschaft eine allgemeine Erweiterung zu einer geologisch-morphologischen Kategorie der Kalkgebirge gefunden, so daß man von Karst-Relief und Karst-Struktur sprechen kann, ohne damit den Begriff der Entwaldung, Vegetationsarmut und Sterilität verbinden zu müssen und ohne Einschränkung ihrer regionalen Verbreitung auf das Mustergebiet. Die Entwaldung, die Ausdörrung und die Entführung der gelockerten Decklagen großer Kalksteingebiete durch Wind und Abschwemmung hat das innere Strukturverhältnis und das Oberflächenrelief, welches dem Musterkarstlande eigen ist, nicht geschaffen, sondern hat dasselbe nur für die Beobachtung freigelegt.

Daß das Kalkgebirge zu beiden Seiten des Wasserscheideabschnittes, welcher zwei noch waldreiche Kalksteinmassen der Hochstufe zugleich trennt und verbindet, das erste Studienfeld für die Erscheinungen werden mußte, welche in ihrem Zusammenhang das interessanteste und lehrreichste Kapitel in der Morphologie der Kalkgebirge bilden, hängt nicht nur ab von der leichten Zugänglichkeit längst der beiden großen Verkehrslinien und von der durch Entwaldung herbeigeführten Freilegung des Beobachtungsfeldes nebst dem sich dabei aufdrängenden Interesse an wichtigen nationalökonomischen Fragen, sondern es liegt auch in der tatsächlichen Bedeutsamkeit und Mannigfaltigkeit der sich anbietenden, morphologischen Beobachtungsobjekte. Die geologische Untersuchung hat eben zugleich gezeigt, daß das Einbruchs- und Absenkungsgebiet von Adelsberg zwischen dem Schneeberger und Birnbaumer Waldgebirge, sowie der Kalksteinkörper der zweiten Höhenstufe, das Karstland von St. Peter

bei Triest besonders komplizierte Verhältnisse der Tektonik erkennen läßt. Mithin ist es begreiflich, warum diese Karstgebiete nicht nur für die Beobachtung und Unterscheidung der morphologischen Haupttypen der unterirdischen Gestaltung und der Oberflächenerscheinungen gefalteter Kalksteingebirge eine so hervorragende Rolle erlangt haben, sondern auch berufen erscheinen, die wesentlichsten Anhaltspunkte für die genetische Erklärung des Gesamtbildes und des Zusammenhanges einzelner Erscheinungen und für die Ableitung der größeren Zahl von besonderen Typen aus der lokalen Mitwirkung und Aufeinanderfolge der überhaupt wirksam gewesenen Kräfte zu liefern (41).

Wie in der vorhergehenden Übersicht der einzelnen Karstgebiete ersichtlich ist, sind diese in Europa ungefähr im Raum zwischen dem 60. und 35. Grad nördlicher Breite sowie dem 10. Grad westlich und dem 35. Grad östlich von Greenwich räumlich verteilt, wozu noch die nicht angeführten Karstgebiete der außereuropäischen Mittelmeerländer (Kleinasien, Nordafrika) kommen, welche in den eben genannten Flächenraum mit hineinfallen. Aus der genannten Übersicht ist auch zu entnehmen, daß die Karstgebiete in der Nähe der Adria am häufigsten zu finden sind und ihre Eigenheiten am schärfsten ausgeprägt hervortreten. Es ist kein bloßer Zufall, daß dieser Musterkarst auch das geometrische Zentrum der europäischen Karstgebiete ist. Ein Kreis auf der Erdoberfläche, dessen Mittelpunkt ungefähr im Gebiet der Wasserscheide dieses Musterkarstes liegt und dessen sphärischer Radius eine Länge von ungefähr 15 Breitegraden hat, umschließt mit seiner Peripherie alle Karstgebiete Europas und der Mittelmeerländer. (Geographische und geologische Zentrierung.)

Im vorhergehenden ist der Nachweis erbracht worden, daß es nicht ganz unberechtigt erscheint, gerade dieses Karstgebiet als Grundlage für die weiteren Ausführungen heranzuziehen, denn es hat in seiner typischen Vielgestaltigkeit einen sozusagen internationalen Charakter.

Dieses Epizentrum der Karstgebiete wird im nachfolgenden eingehender behandelt, alle Fragen, welche dieses Gebiet betreffen und deren mehr oder minder vollständigen Lösungen können als Leitlinien für andere Gebiete dieser Art und Gestaltung oder ähnliche Gebiete genommen werden.

Die reiche Literatur über alle Karstfragen wird im weiteren Text selbst erwähnt oder am Schluß anhangsweise angeführt werden.

## II. Geologisch-morphographischer Teil.

(Tektonik, Orographie, Hydrographie.)

Die Entstehung des Karstes ist an endogene und exogene Ursachen geknüpft.

Die erste der inneren (endogenen) Entstehungsursachen des Karstes ist allgemein geologischer Natur: Das Karstphänomen ist an bestimmte geologische Formationen gebunden; die zweite dieser ist geologisch-tektonisch-stratigraphischer Art: Das Karstphänomen ist von gewissen Lagerungen, Schichtungen und der Klüftung der Gesteine abhängig oder wird durch diese Bedingungen positiv oder negativ beeinflusst.

Nur die Kalkformationen können Karsterscheinungen aufweisen; darüber sind alle Forscher einig. Cvijič (12) sagt diesbezüglich: Die Karstphänomene kommen auf Kalksteinen aller geologischen Systeme, von silurischen bis zu den rezenten 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.

Im ersten Teile ist schon gesagt worden, daß die größte Häufigkeit und typische Entwicklung des Karstphänomens der reine Kalkstein zeigt, vor allen also alle kretazischen Gebiete. Tonige und mergelige Kalksteine entbehren mehr oder weniger dieser Erscheinungen, oder es sind diese nur angedeutet und rudimentär; (geologische Orgeln) doch können alle Übergangsstufen von dem echten Karste mit allen typischen Merkmalen bis zu den rudimentären Embryonalstadien der geologischen Orgeln in den verschiedenen Kalksteingebieten nachgewiesen werden.

Weniger Einigkeit herrscht in der Frage über die zweite endogene Ursache, über den Einfluß der Tektonik, Schichtung und Lagerung der Kreidekalke, auf die Bildung der Karstphänomene, sowie über das geologische Alter dieser Gebirgsbildungen, beziehungsweise den Zeitpunkt des Eintrittes jener Momente, welche die Verkarstung hervorgerufen, begünstigt oder unterbrochen haben.

Cvijič (12) sagt, daß alle Karstphänomene, mit Ausnahme von Poljen, sowohl in horizontal gelagerten, als auch in dislozierten Karstgebieten vorkommen. Die Poljen fehlen in Tafelländern vollständig und sie sind im allgemeinen auf die dislozierten 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

Kordilleren vor. Seltener sind sie im Faltenjura vertreten. In seiner Gesamtheit kann man daher das Karstphänomen nicht auf tektonische Bewegungen zurückführen.

Schon 1856 und später in seinem geologischen Landschaftsbild des istrischen Küstenlandes weist jedoch Stache (43) nach, daß es die Gesamttektonik und die lokale Gebirgsstruktur sind, durch welche allein der Grund gelegt werden konnte zu all den auffallenden Erscheinungen des oberirdischen und unterirdischen Baues der Karstgebirge. Es würde zu weit führen, diese höchst interessanten Ausführungen hier weiter zu verfolgen. Penck (44) kommt zu dem Schlusse, daß die Karstlandschaften nicht an einen bestimmten Gebirgsbau geknüpft sind (l. c. Bd. II, P. 273) spricht jedoch den Poljen tektonische Entstehung zu (45).

Diesen Ansichten schließt sich der Schüler Pencks Grund (46) an und ist bezüglich der Poljen auch in Übereinstimmung mit Stache (l. c.), nach welchen die Poljen von Laas, Planina und Zirknitz an einer Bruchlinie liegen, sonach tektonische Senkungsfelder sind.

Supan (47) zählt in seiner Übersicht der verschiedenen Elemente des Karstphänomens die Uvalas und Poljen zu den tektonisch bedingten Großformen, und sagt, daß weder das geologische Alter noch die Lagerungsverhältnisse der Kalksteine von Einfluß auf das Karstphänomen sind. Es kommt ebenso im Faltengebirge wie in horizontal geschichteten Plateaus vor. Maßgebend ist nur die größere oder geringere Reinheit des Kalksteines und nur diesem Umstande ist es zuzuschreiben, daß die Kaprotinen und Rudistenkalke der Kreideformation die Hauptträger des Karstphänomens zu sein scheinen (l. c. P. 446, 447).

Über die Entwicklungsgeschichte der österreichischen Karstgebiete gibt Stache (41) ein anschauliches Bild und teilt diese in fünf Hauptperioden ein, wobei ein Eingehen auf die Bildungsepochen der Gebirgsunterlagen von der jüngsten Jura abwärts entfallen konnte. Nach dieser Einteilung schließt sich an die erste kretazische, halokratische Periode des Schichtenaufbaues die protozäne-halotropische Bildungs- und Umbildungsperiode an, welche zugleich die erste große Erosionsperiode des küstenländischen Baumaterials der Kreide und Protozänzeit und damit embryonale Vorstadien der Karsterscheinungen und Terrarossabildungen einschließt.

Die dritte Hauptperiode, die eozäne, ist durch die Ablagerung gesteinsbildender Meeressedimente ausgefüllt und charakterisiert, und durch wiederholte Schwankungen des Meeresbodens und der Küsten-

linien, durch heftige seismische Bewegungen und Veränderungen der dem Meere Sedimentmaterial zuführenden Strömungen ausgezeichnet.

Der vierte Zeitraum ist die Periode der zweiten Festlandbildung und der gründlichsten Umgestaltung. Im Gegensatze zu der halotropischen, wird diese als tektodynamische Festlandbildung bezeichnet.

Dieser tektonisch-dynamische Landbildungsvorgang der älteren Neogenzeit gab die Grundlagen zur Höhlen- und Karstbildung. Die darauffolgende neogenquartäre Periode zeigte einen verhältnismäßig stabilen Festlandbestand. Diese zweite große Erosionsperiode ist zugleich die Hauptperiode der bedeutendsten Anhäufungen und Umschwemmungen der roten Karstlehme und Terrarossabildungen.

Die fünfte und letzte Hauptperiode ist jene der fast kataklismatischen Gewölbeeinbrüche, Schollenversenkungen und Verschiebungen der Gebirgsunterlagen und des Eindringens der Adria in die Senkregion dieses Gebietes. Die Nachwirkungen jener gewaltigen abyssischen Störungen reichten bis in nachrömisch-historische Zeit, bis in unsere Tage hinein. Es ist die abyssomotorische Umbildungsperiode.

Nach Grund (46) traten in Westbosnien die ersten tektonischen Einbrüche nach Schluß der Faltungen im Oligozän ein; später traten weitere tektonische Veränderungen ein, die Einebnungsflächen zerbrachen und senkten sich stufenförmig gegen die Adria. Mit dem Absitzen des Gebirges lebte auch die tektonische Senkung in einzelnen Neogenbecken wieder auf, während zugleich neue Einbruchsbecken entstanden. Auch die Existenz der adriatischen Ostküste in der Diluvialzeit, und die Gleichalterigkeit des Einbruches der Adria mit der Entstehung der heutigen Karstpoljen will Grund (46) nachweisen, im Gegensatze zu Stache, der diesen Einbruch in die neogenquartäre Periode verlegt. Auch Penck (45) ist der Ansicht, daß das Karstphänomen in den adriatischen Küstenländern postmiozän, aber prädiluvial, somit pliozän ist. — Schließlich sagt Grund (46), daß weder die pliozänen noch die diluvialen Seeterrassen Störungen zeigen, so daß scheinbar nach der letzten Poljenbildung keine Krustenbewegungen vorgekommen sind.

Für vorliegendes Referat hat in erster Reihe nur die Tatsache Interesse, daß ein Gebiet desto mehr verkarstet erscheint, aus je reineren Kalken es aufgebaut ist und je nackter diese Kalke zutage treten. Diese mineralogischen und Oberflächenverhältnisse sind die einzigen Angriffspunkte für die exogenen Ursachen der Verkarstung, welche in den Einflüssen der subaerischen und subterrestrischen Gewässer auf die Kalksteinschichten bestehen.

Das Gestein muß chemisch vom Wasser angegriffen werden können (Korrosion). Die mechanische Erosion kommt bei allen Gesteinen in Wirksamkeit, ist also keine spezifische Verkarstungsursache exogener Natur.

Die Korrosion wird durch die endogene Ursache der Klüftung eingeleitet und unterstützt. Das Wasser vermag leicht die Gesteinsmassen der Kalkgebirge aufzulösen, und zwar im Verhältnisse von ein Teil Kalk auf 10.000 Teile Wasser, wenn es kohlenäurefrei ist; enthält es jedoch Kohlensäure, so kann es unter Umständen die zehnfache Menge an Kalk auflösen (vergl. v. Knebel [48]). Diese lösende Wirkung des atmosphärischen Wassers auf den Kalk ist die Ursache der Bildung der verschiedenen Karstoberflächenformen, welche mit den Oberflächenformen impermeabler Gesteine in scharfen Gegensatz stehen. Die Hauptglieder des Karstphänomens, welche durch ihr Zusammentreten die Karstlandschaft bilden, werden von den verschiedenen Forschern, je nachdem sie Geographen, Geologen, Spelaeologen, Hydrotechniker u. s. w. sind, verschieden gewichtig betont, ihnen je nach den Gesichtspunkten verschiedene Influenz und Schwere im Verhältnisse zum Ganzen eingeräumt.

In der schon erwähnten Übersicht stellt Supan (47) die Elemente des Karstphänomens folgend zusammen:

I. Gebilde der Tiefenerosion:

1. Primäre, Höhlen,
2. Sekundäre, durch Einsturz entstanden:
  - a) alle Schwemmlanddolenen,
  - b) Felsdolenen zum Teil,
  - c) Naturschachte zum Teil,
  - d) offene Talstücke.

II. Gebilde der Oberflächenerosion:

1. Kleinformen:

- a) im reinen Kalkstein,
- α) auf ebenem oder sanft geneigtem Kalkboden,
- αα) Felsdolenen zum Teil,
- ββ) Naturschachte zum Teil.
- β) auf stark geneigtem Kalkboden: Karren,
- b) im unreinem Kalkstein: geologische Orgeln.

2. Großformen, tektonisch bedingt:

Uvalas und Poljen.

Penck (44) zieht alle diese Formen in den Sammelnamen „Wannen“ (in durchlässigen Gesteinen) zusammen und unterteilt diesen



Begriff noch in Felsschlotte (Avens), Felstrichter (Dolinen), blinde Täler, Trockentäler, Kesseltäler (Poljen, Combes) und Hohlebenen deren Entwässerung durch „Katavothren“ oder „Ponore“ erfolgt.

Cvijič (12) hält sich an die Einteilung Pencks und fügt noch die Karren (Schratten, Lapiez) und Karrenfelder hinzu.

Grund (46) dessen Karsthydrographie sich hauptsächlich auf die großen Poljen Westbosniens stützt, hat in diesem Werke keine Systematik aller Karsterscheinungen aufgestellt.

v. Knebel (48) legt das Hauptgewicht auf die Höhlen mit den unterirdischen Flüssen und auf die Dolinen. Den Kesseltälern oder Poljen widmet er ein eigenes Kapitel.

Moser (49) beschränkt sich hauptsächlich auf die Höhlen

Kraus (50) gibt in seiner Höhlenkunde eine Systematik der Höhlen.

Schmiedl (51) und nach ihm Urbas (52) klassifizieren nur die Höhlen, Grotten, Trichter (Doline) und Talmulden; Schmidl führt den Ausdruck Grotten für trockene Höhlen ein.

Alle hier genannten Oberflächenerscheinungen und unterirdischen Veränderungen stehen im innigsten Zusammenhange mit den hydrographischen Verhältnissen des Karstes, welche in naturwissenschaftlicher und volkswirtschaftlicher Beziehung von einschneidendster Bedeutung sind. Eben diese gewaltigen chemischen (teilweise auch mechanischen) Veränderungen in der Kalksteinrinde sind die Ursachen der sonderbaren Wasserverhältnisse des Karstes, welche Wassernot in negativen und positiven Sinne, Dürre und Überschwemmung, zeigen.

Das atmosphärische Wasser erzeugt durch die Korrosion auf der Oberfläche des Kalksteines verschiedene Hohlformen, vergrößert die schon vorhandenen Spalten und Klüfte des Gesteines gleichfalls durch chemische Auflösung und leitet die Wassermengen in die Tiefen des Gebirges ab, wo es in verschiedenen Horizonten zirkuliert, öfters auch wieder zutage tritt und schließlich den allgemeinen Grundwasserspiegel erreicht. In dem Karstgebiet zählt der oberirdische Wasserabfluß zu den Seltenheiten; die Regel ist die unterirdische Entwässerung, die sogenannte Vertikalentwässerung in Verbindung mit der unterirdischen Horizontalentwässerung. Der ganze Ent- und Bewässerungsvorgang, welcher sich in den Gebieten undurchlässiger Gesteine oberirdisch in all den Quellen, Bächen, Flüssen und Strömen abspielt, vollzieht sich im Karstgebiete, bis auf ganz geringe Ausnahmen unterirdisch. Diese Gebiete sind wie Siebe, das auf sie niederfallende Regenwasser wird in unglaublich kurzer Zeit verschluckt und in meist ungeahnte Tiefen abgeleitet.

Unterirdisch entwickelt sich ein ganzes Netz von Wasseradern und mächtige Flüsse durchrauschen die Höhlen. In den Zeiten verstärkter Regenfälle schwellen jedoch diese unterirdischen Gewässer (mögen sie nun wie immer klassifiziert werden; Grund (46) nennt sie stagnierendes Grundwasser = Grundwasser und fließendes Grundwasser = Karstwasser; v. Knebel (48) nennt sie ausschließlich nur Höhlenflüsse mit ihren Zuflüssen und verwirft die Theorie Grunds, welche er als für den echten Karst nicht zutreffend bezeichnet) mächtig an und überfluten die Kesseltäler und Poljen des Karstes; da es gerade diese Karstwannen sind, welche noch Ackerland aufweisen, befinden sich in ihnen auch die meisten menschlichen Ansiedlungen und diese Überschwemmungen werden hiedurch umso empfindlicher für die Karstbewohner.

Alle höher als diese (geotektonisch oder später auf anderen Wegen entstandenen) Senken liegenden Gebiete des Karstes bleiben von Überflutungen verschont, haben aber auch sonst keine oberirdischen Wasserläufe aufzuweisen; sie sind dürr und trocken und leiden im höchsten Grade an der zweiten Form der Wassernot — dem Wassermangel.

Nur hie und da, wo Dolomite die Kreidekalke unterbrechen, zeigen sich spärliche Wässerchen — „Hungerquellen“ — doch auch diese versiegen mangels eines größeren Niederschlagsgebietes bald und ihr Lauf findet ein jähes Ende, sobald die Wasser das meist kleine Dolomitgebiet verlassen. Die ganze große Oberfläche der kretazischen Kalke ist wasserlos, weite Wirtschaftsgebiete und deren Bewohner samt ihren Viehständen leiden unter dieser Geißel des Karstes und hier eröffnet sich ein Gebiet zu intensivster und fruchtbringendster nationalökonomischer Arbeit.

### III. Technischer Teil.

Von den Oberflächenformen des Karstes sind es die schüssel- und trichterförmigen Dolinen (Karsttrichter, Hühle, Entonnoires, Swallow holes, Busi etc. vergl. v. Knebel [48]), welche in der Wasserversorgungsfrage zuerst die Aufmerksamkeit der Karstbewohner auf sich gelenkt haben. Als schüssel- oder trichterförmige Unterbrechungen der ebenen oder hängenden Landfläche nehmen sie das Regenwasser der Umgebung auf und leiten es durch mehr oder weniger große Spalten dem Innern des Gebirges zu. Meist sind diese Dolinen mit einer oft sehr mächtigen Schichte des Terra rossa-Lehmes ausgekleidet. Diese Schichte ist an und für sich schon imstande, das in die Doline ein-

fließende Regen- oder Schneewasser eine Zeitlang an der Oberfläche zurückzuhalten; es bilden sich Lachen, selbst kleine Seen, welche jedoch mehr oder minder bald verschwinden.

Sind jedoch die Abzugsspalten in das Innere des Gebirges am Grunde der Doline verstopft und verschlämmt, so kann sich das Wasser unter Umständen auch das ganze Jahr hindurch oder einen Teil desselben in der Doline erhalten und wird dadurch zum natürlichen Wasserreservoir für die Bewohner der Umgebung. (Von den Grundwasserdolinen, wie sie Cvijič [12] erwähnt, muß hier abgesehen werden.)

Die Erkenntnis, daß eine solche Verstopfung auch künstlich herbeigeführt werden kann, hat die Karstbewohner umso eher veranlaßt, sich solche Reservoirs auf diese Weise anzulegen, als hierbei jede größere Erdbewegung und Materialtransportierung entfallen konnte.

Es entstanden hiemit die ersten, einfachsten und billigsten Wasserversorgungsanlagen des Karstes, welche heute noch in allem Karstgebieten zahlreich verbreitet sind und heute noch den größten Teil des Viehtränk- und Nutzwassers, sehr oft auch das Koch- und Trinkwasser liefern müssen.

Es sind die Karstlachen (Viehlachen), welche slovenisch „Ulaka“, „Lokva“, „Lokvica“, „Kal“, in der Gegend von Poladignano auch „Foibe“ heißen.

Mit äußerst wenigen Ausnahmen sind alle diese vielen Wasserbecken künstlich angelegt und dementsprechend auch gering dimensioniert; sie sind meist rund bis oval-schüsselförmig und wenn sie 500 bis 700 Kubikmeter halten können, gehören sie schon zu den Großen ihrer Art.

Bei der Anlage wird die Doline erst vom Humus und allen verwesbaren Substanzen gereinigt, allenfalls die Talseite durch Aufdämmung erhöht und auf die Dolinenwände so hoch ein Lehmschlag aufgebracht, als das Wasser späterhin stehen soll. Der Lehmschlag wird auf das innigste verarbeitet und kleingeschlägelter Schotter in den Lehm eingestampft. Fast alle solchen Lokve sind mit Bäumen umpflanzt, manche liegen ganz im Schatten dieser (ein großer Vorteil auf dem baumlosen Karst), manche haben nur einige wenige Bäume, meist Schwarz- oder Silberpappeln, an ihren Rändern stehen.

Das Sammelgebiet des Tagwassers für diese Lokve ist die nächste Umgebung, am liebsten wird das Wasser von Wegen und Straßen aufgefangen und eingeleitet, da es auf diesen undurchlässigen Streifen am reichlichsten zufließt und bei den intensiven Regengüssen des Karstgebietes erstaunliche Mengen in sehr kurzer Zeit liefert.

Durch diese Art der Wasserzufuhr werden die Lokve im Laufe der Zeit verschlammmt und müssen zeitweise gereinigt werden. Dieser Schlamm ist ein gesuchtes Düngemittel.

Der Eintrieb des Viehes schadet nicht der Lehmdecke, diese wird eher noch verdichtet, wie darüber Safford auch von den Sinkholes (lokve, bezw. Doline) in Tennessee und Kentucky berichtet (vgl. Penck [44] l. c., p. 286, II. Bd.). Das Gleiche galt von den Hirschsuhlen, slov. „Jelenice“ des Hoch- und Waldkarstes (Birnbauerwald — Schneeberggebiet). In vergangenen Jahrhunderten wurden solche Suhlen in ganz gleicher Weise wie die Lokve angelegt; das Suhlen der Hirsche verdichtete den Lehmschlag immer mehr und mehr; als jedoch nach dem Jahre 1848 das Hochwild in Krain vernichtet wurde, verschwanden auch die „Jelenice“, weil das Wasser langsam den Lehmschlag durchlöcherte, abfloß und der Lehm dann durch Frost aufgezogen wurde; es konnte sich kein Wasser mehr ansammeln; jetzt sind sie nur mehr trockene Dolinen und nur der Name erinnert noch an ihre einstige Bestimmung.

Es liegt in der Natur der Sache, daß gerade die Bewohner des wasserärmsten Karstes, jene von Kastua-Klana die besten Erbauer solcher Lokve sind. Diese haben auch eine Unterführung der Lokve mit zwei sich senkrecht kreuzenden Luftstollen als Schutz gegen Beschädigungen der Lokve durch Erdbeben oder Krustenbewegungen überhaupt eingeführt; die Zweckmäßigkeit dieser Luftkanäle läßt sich natürlich nicht leicht feststellen, dazu müßten Erdbeben weit häufiger sein.

Es ist ja nicht zu leugnen, daß solche Lokve nicht das Ideal einer Wasserversorgung sind; wenn man jedoch sieht, daß vielen Dörfern auf dem Karste selbst dieses primitivste Reservoir fehlt, wenn man sieht, wie die Bewohner für sich und ihr Vieh Wasser zwei und drei Stunden weit herbeischleppen und führen müssen, ein Wasser, welches meist nicht besserer Qualität als das Lokvewasser oder ein solches selbst ist, so kommt man zur Überzeugung, daß fürs erste schon eine solche Lokve ein Segen für die betreffende Gegend wäre. Hat doch auch in wasserreichen Gegenden jedes Dorf seinen „Dorfteich“, um wenigstens bei Feuersbrünsten genügenden Wasservorrat zu haben.

Sehr oft sind solche Lokve mit einer Quelle vereint; diese führen recht eigentlich den Namen „Kal“ (diminit. „Kalič“).

Wie es schon diese Vereinigung zeigt, ist die Quelle nie von besonderer Stärke, oft nur eine periodische, eine „Hungerquelle“. Die der Quelle vorgebaute Lokva ist das Reservoir für das in Regenzeiten reichlicher abfließende Quellwasser. Die Lokva wird also nicht nur durch

Tagwasser (in den meisten Fällen wird diesem der Zufluß nicht gewehrt), sondern auch durch Quellwasser gespeist; nur in seltensten Fällen enthält eine solche Lokva nur Quellwasser allein.

Diese Quellen sind, mit nur wenigen Ausnahmen in den Kessel-tälern und in der Nähe der Meeresküste, Schichtquellen und haben meist nur ein unbedeutendes Sammelgebiet; sie stehen jedoch in gar keinem Zusammenhange mit dem Grundwasser, selbst mit jenem nicht, welches Grund Karstwasser nennt. Eine solche Quelle mit vorgebauter Lokva ist bei Šambije ober dem Rekatale gelegen, deren Wasser aus dem Hangenden des Eozen (Kalkmergelschiefer), welches von den Rudistenkalken der Kreide überlagert wird, kommen. Diese Überlagerung einer jüngeren und undurchlässigen Schichte durch die Kreide ermöglicht auch das Erscheinen einer Schichtquelle in so bedeutender Seehöhe von rund 600 Meter in der Kreide, da ansonsten die normale impermeable Unterlage der Kreidekalke ganz bedeutend tiefer liegt. Hauer (53) beschreibt diese merkwürdige Schichtenstörung, erwähnt jedoch nicht diese Quelle. Das Sammelgebiet dieser Quelle ist ein ganz unbedeutendes.

Der Kreidekalk ist vielerorts durch dolomitische Schichten durchbrochen. Diese Dolomite, welche fast gar keine Klüftung haben, sind die Hauptträger dieser Schichtquellen, welche gewöhnlich „Hungerquellen“ sind, weil ihr Sammelgebiet ein sehr geringes ist. Diese dolomitischen Bänke sind ringsum von Kreidekalken umgeben und von der Erdkrume überlagert; da der Dolomit nahezu wasserundurchlässig, weil zu wenig klüftig ist, zirkuliert das eingedrungene Wasser zwischen der Erdkrume oder der sonstigen Bedeckung und dem Hangenden des Dolomits, bis es wieder auf Kreideschichten stößt und dort den gewohnten Weg in die Tiefe nimmt. Wird jedoch das Hangende des Dolomits irgendwo und irgendwie (durch die Terrainkurve oder künstlich) geschnitten, so wird dieses zirkulierende Wasser freigelegt und erscheint als „Hungerquelle“ periodisch mit den Regenzeiten, da alle hier in Betracht kommenden Dolomitbänke eine zu geringe Fläche haben, um ausgedehnte Sammelgebiete darstellen zu können.

Auf die ausgedehnten massigen Dolomitschichten im Karste, welche sehr reichlich wasserführend sind, soll später noch zurückgekommen werden, wenn die Wasserleitungsanlagen zur Besprechung gelangen.

(Grund [46] l. c., p. 172, 173, negiert vollkommen den Karstcharakter und die chemische Löslichkeit des Dolomits, während anderseits v. Knebel [48] l. c., p. 24 bis 26, gerade das Gegenteil behauptet und mit den Untersuchungen des Prof. E. v. Gorup-Besanez

[54] seine Behauptungen stützt. Auch hier wird die Wahrheit in der Mitte liegen. Ich halte die verschwindend geringe Klüftung der hiesigen Dolomite für die erste und Hauptursache der geringen Korrosion und der reichen Wasserführung dieser Schichten.)

Die Fassung solcher Hungerquellen und die Aufspeicherung ihrer Gewässer in künstlichen Reservoirs (Zisternen) für ganze Ortschaften wäre ein dankbares Feld für die Wasserversorgung im Karstgebiet; allerdings ist das hydrotechnische Kleinarbeit und in dieser Hinsicht wenig dankbar; wenn man jedoch den angestrebten Zweck hiemit erreicht und den Umständen angepaßt, wird man ihn wohl immer erreichen, so lohnt auch solche Kleinarbeit vollauf und es wird mit wenig Kosten ein Segenswerk geschaffen. Es müssen ja nicht nur Wunderwerke der Technik sein, welche die Wasserfrage auf dem Karste mit lösen helfen sollen.

Daß es sich lohnt, solche Hungerquellen zu fassen und daran selbst größere Reservoirs zu knüpfen, möge ein Beispiel für viele zeigen.

Das Dorf Vrh liegt auf der Nordlehne des Berges Gradčec, welcher am Südennde das Laasertal, ein Karstpolje, abschließt, in 644 Meter Seehöhe; südlich vom Dorfe bei der Dorfkirche S. Thomas, befindet sich in 684 Meter Seehöhe auf dem Hange des Gradčec eine kleine Schichtquelle in Dolomitgestein. Die Quelle selbst ist in primitiver Art gefaßt und überwölbt, vor ihr ist eine Lokva als Viehtränklache hergestellt, während die Quelle selbst das Trink- und Nutzwasser liefert oder besser gesagt liefern soll; das Überfallwasser rinnt in die Viehtränklache, bei Überfluß von dort weiter und versickert nach 2 bis 3 Meter Lauf. Bei Regenwetter ist der Wasserreichtum natürlich ein enormer, der jedoch verloren geht, da alles gleich wieder versickert. In den Zeiten der Trockenheit nimmt die Wassermenge täglich mehr und mehr ab und nach sechzig tägiger Trockenheit gibt die Quelle höchstens 0.00185 Sekundenliter oder 160 Liter in 24 Stunden. Das ist eine lächerlich kleine Zahl. So wie diese ist auch eine ununterbrochene Trockenperiode von 60 Tagen als Grenzwert anzusehen.

Die Insassen des Dorfes Vrh sind mit ihrem Wasserbezuge einzig und allein auf diese Quelle angewiesen. Da diese über 500 Meter vom Dorf entfernt und rund 40 Meter höher als dieses liegt, wird das ganze Bedarfsquantum in kleinen Fässern auf Handwägelchen in das Dorf zugeführt und das Vieh zu der erwähnten Lokva den Berg hinauf zur Tränke getrieben.

Nach ungefähr dreißigtägiger Trockenheit gibt die Quelle noch 0·03 Sekundenliter 2560 Liter Wasser in 24 Stunden, mit welchem Quantum der Bedarf des Dorfes zur Not im bescheidensten Maße gedeckt ist. Dauert die Trockenheit länger — was Regel ist — so sinkt die Ergiebigkeit der Quelle rapid und ein Gehöft nach dem andern muß zur Wasserzufuhr aus den Gewässern des Kesseltales von Laas greifen. Mit Ochsen gespannen wird das gesamte Trink-, Nutz- und Tränkwasser auf mehrere Kilometer Entfernung zugeführt und mühsam den Berg hinauf in das 100 Meter höher liegende Dorf geschleppt.

Das Dorf Vrh hat 22 Hausnummern und 200 Einwohner; der Bedarf an Nutz-, Trink-, Tränk- und Kochwasser wird mit 50 Liter pro Kopf und Tag, somit 100 Hektoliter pro Tag in Rechnung gestellt, wobei nicht nur auf eine unausbleibliche Vermehrung der Einwohnerzahl, sondern auch auf den Umstand Rücksicht genommen wird, daß bei leichterem Wasserbezuge auch eine Vergrößerung des Wasserbedarfes eintritt.

Der bisher beobachtete Höchstbetrag der regenlosen Zeit in hiesiger Gegend beträgt 60 Tage, wonach für ein Wasservorratsquantum von 6000 Hektoliter oder 600 Kubikmeter vorzusorgen wäre. Da jedoch die Quelle noch durch ungefähr 20 bis 30 Tage nach dem letzten ausgiebigen Regen das nötige Trink- und Nutzwasser ergibt, ist nur für die Hälfte des notwendigen Vorrates, d. i. für 3000 Hektoliter gleich 300 Kubikmeter zu sorgen.

Nach einem ausgiebigen Regen mit ungefähr 60 Millimeter Niederschlag, wie solche auf dem Krainer Karste nicht selten sind, ist die Ergiebigkeit der Quelle nahezu unbegrenzt. Wenn ein Sammelgebiet der Quelle von nur 1 Hektar Fläche in Rechnung gezogen wird, so ergibt dies schon eine Wassermenge von 600 Kubikmeter; fördert die Quelle nur die Hälfte dieses Quantums zutage, während die andere Hälfte irgendwohin versickert, so genügt dies doch vollkommen, um das Reservoir von 300 Kubikmeter in einem Tage zu füllen. In diesem Falle liefert die Quelle etwas über drei Sekundenliter, sie ist also immer noch ein bescheidenes Wässerchen.

Die Weiterleitung aus dem Reservoir unterscheidet sich durch nichts von irgend einer anderen Wasserleitung. Die Vergrößerung des Reservoirs, die Anbringung und Einstellung von Ventilbrunnen, Hydranten u. s. w. ist lediglich nur eine Geldfrage.

Unter der Voraussetzung der eben beschriebenen Leistungsfähigkeit der Quelle kann die Vergrößerung des Reservoirs getrost bis

600 Kubikmeter und selbst noch etwas darüber hinaus vorgenommen werden.

Solche Wasserverhältnisse, doch von verschiedener Intensität findet man in Musterkarst sehr häufig und manchmal hat die Bevölkerung seit langem schon versucht, solche Quellen zu fassen, sie auch gefaßt, der Effekt war jedoch ein geringerer, da auch die gefaßten Quellen in der Trockenheit versiegen.

Das Hauptgewicht ist auf die Reservoirs zu legen, welche den Überfluß dieser Quellen aufnehmen und für die Dürre aufspeichern sollen. In diesem Punkte hat die Wasserversorgungsfrage anzusetzen, wenn es sich um schnelle Hilfe für kleine Ortschaften auf möglichst billigem Wege handelt.

Diese Entwicklung aus der Lokva, dem Kal mit der Hungerquelle bis zum Reservoir führt direkt zu den schon in urältester Zeit bekannten und benützten Wasseraufspeicherungsanstalten, den Zisternen.

Ballif (55) sagt in seinem hervorragend interessanten Werke „Die Wasserbauten in Bosnien und der Herzegowina“: „Die Uferländer des Mittelmeeres sind der klassische Boden der Zisternenbauten.“ Je mehr man sich jedoch von diesem Ufer entfernt, desto seltener werden diese Bauten.

Das hier in Rede stehende Gebiet des Karstes zeigt Zisternenanlagen verhältnismäßig selten, man würde solche Anlagen in Ortschaften häufiger vermuten, im freien Felde findet man sie überhaupt spärlich. In den letzten Jahrzehnten ist es diesbezüglich besser geworden; in manchen Ortschaften hat sich eine fast fieberhafte Zisternenbautätigkeit unter den Dorfbewohnern entwickelt; freilich gab zu solch einer Tätigkeit oft erst eine Feuersbrunst, welche das ganze Dorf eingeäschert hatte, die Veranlassung. Andererseits muß aber anerkannt werden, daß sich die Dörfler in vielen Fällen nur auf sich selbst angewiesen sahen und solche immerhin teure Bauten aus eigener Tasche, ohne fremde Beihilfe, bezahlten, sich infolgedessen nur schwer zu diesen Auslagen entschließen konnten.

Die meisten (vorwiegend die älteren) Zisternen zeigen einen runden Querschnitt des Innenraumes und der Mauerung, oft sind sie flaschenförmig mit nach oben verengter Öffnung, auf welcher der Schlußstein aufliegt, der den Brunnenkranz trägt; in diesen Fällen ist der Schlußstein meist ein Monolith; auch der Brunnenkranz ist oft ein solcher. Der Fassungsraum der flaschenförmigen Zisternen ist gering, 20 Kubikmeter kann als Medium gelten. Einzelne zylindrische, oben abgewölbte

Zisternen zeigen Kapazitäten bis zu 300 Kubikmeter und gelten mit als die größten.

Ballif (55) sagt, daß in der Herzegowina selbst bei den ältesten, aus alchristlicher Zeit und aus noch früheren Jahrhunderten stammenden Zisternen die Grundform immer das Prisma darstellt; diese Form findet man hier selten (vorwiegend nur bei den neueren Bauten dieser Art), woraus sich schließen läßt, daß nicht die mediterrane Zisterne, sondern der nordische Brunnen das Vorbild für die hierländischen Zisternen gab.

Von der Bauausführung der älteren Zisternen ist zu erwähnen, daß die Wölbung sehr oft aus Kalktuffstein (lahki kamen) ausgeführt ist, welcher zu diesen Zwecken oft weit herbeigeht wurde. Die so interessante Bauart in „Crvenica-Mörtel“, wie sie Ballif (55) aus der Herzegowina schildert, ist bei den älteren Zisternen nicht zu konstatieren, obgleich zur Hinterfüllung dieser oft Terrarossa-Lehme verwendet wurden.

Die modernen Zisternen werden alle mit Anwendung von Portland- und Roman-Zementen gebaut.

Die Sammelflächen für die älteren Zisternen, jedoch auch für einen Bruchteil dieser, sind wie für die Lokve die umliegenden Hänge, auch Wege und Straßen. Der Großteil der Zisternen wird heute durch Traufenwasser gespeist; alle Neubauten dieser Art sind nur für diese Wasserzuführung eingerichtet und auch die meisten der älteren wurden in diesem Sinne umgearbeitet, was eben nur in der Nähe der Baulichkeiten möglich war.

Auf freiem Felde findet man leider selten Zisternen, hier müssen Lokve als Viehtränke dienen.

Für die Beschaffung des Trink- und Nutzwassers in den Ortschaften der Karstgebiete sind die Zisternen von bedeutungsvollem Werte und werden es auch in Zukunft bleiben, da vielerorts Wasserleitungsanlagen, der zu großen Kosten wegen, von vornherein ausgeschlossen erscheinen.

Die offenen Zisternen (nach Ballif „Tränken“, in Montenegro „Ubli“ genannt) würden in vielen Fällen die Lokve als Viehtränken auf des vorteilhafteste ersetzen.

Wie für die Lokve, sind auch für die Zisternen die bedeutendsten Erbauer im Küstenkarste die Kastuaner; sie haben sich gewisse empirische Regeln zurechtgeschnitten und bauen nach diesen die flaschenförmigen und zylindrischen Zisternen.

Die Sammelflächen für die Zisternen sind die Dächer der Wohn- und Wirtschaftsgebäude, welche vorwiegend mit den bekannten italienischen Hohlziegeln gedeckt sind. In neuerer Zeit werden diese vielfach durch die modernen Parallelstrangfalzziegel verdrängt, was für die Güte und Dichte der Auffangfläche von großem Vorteile ist.

Die Dachauffangfläche eines Gehöftes kann im Mittel mit 200 Quadratmeter angenommen werden. Der monatliche Durchschnitt der Regenmenge beträgt rund 100 Millimeter. Bei 20 % Verlust leitet diese Auffangfläche monatlich 16 Kubikmeter oder 160 Hektoliter in die Zisterne ab. Der Wasserverbrauch eines Gehöftes beträgt rund 250 Liter täglich oder 70 Hektoliter im Monat, es bleiben somit rund 90 Hektoliter Wasser in Vorrat für eine einmonatliche bis 40tägige Dürre. Die Kastuaner Zisternenbauer trugen und tragen diesen Verhältnissen Rechnung, indem sie die Zisternen gewöhnlich mit 2 Meter Durchmesser und 6 bis 8 Meter Tiefe im Lichten anlegen, einen Fassungsraum von 18 bis 24 Kubikmeter schaffen.

Das Wasser hält sich in gut angelegten Zisternen, und eine möglichst reinliche Auffangfläche vorausgesetzt, sehr gut, klar und frisch. Die Temperatur des Wassers in solchen Zisternen übersteigt gewöhnlich nicht um vieles die Jahresmitteltemperatur des betreffenden Ortes, bleibt sehr oft noch unter dieser.

Wie eingangs bemerkt, fehlen noch in manchen Ortschaften Zisternen. Eine Förderung der Anlage solcher Wasserversorgungsanstalten erscheint sehr notwendig, doch ist es nicht rätlich, große gemeinschaftliche Zisternen (Dorfzisternen) anzulegen. Ein geeigneterer Weg scheint es zu sein, dem einzelnen Besitzer zu einer „Gehöftzisterne“ durch Subventionierung zu verhelfen, da der einzelne an einem Objekte, welches sein Eigentum ist, mit Liebe hängt, während er gemeinsamen Anlagen, selbst wenn sie auch sehr dringenden Bedürfnissen abhelfen, mehr oder weniger interesselos gegenüber steht.

Zu den Gehöftzisternen trägt der betreffende Interessent lieber etwas bei, da die Beitragssumme verhältnismäßig klein ist und in erster Reihe ihm selbst zugute kommt; auch die zukünftige Erhaltung fällt ihm zu und belastet ihn nur unmerklich.

Große Zisternen sind an und für sich schwer dicht zu erhalten und wird eine solche gemeinsame Anlage leck, ist nicht nur die Bewohnerschaft ohne Wasser, auch die Reparatur ist ungleich schwerer durchzuführen und die Geldmittel hiezu sind oft nur im Zwangswege zusammenzubringen.

Ein besonderes Augenmerk wäre auf „Feldzisternen“ zu richten, diese fehlen nahezu überall. Auf den ausgedehnten Weide- und Waldflächen der Karstgebiete werden solche Anlagen nachgerade zur Notwendigkeit, nicht nur in volkswirtschaftlicher, auch in militärischer Hinsicht und sie werden mit zu den Hauptaufgaben des Meliorationswesens zu zählen sein. Die technische Ausführung begegnet keinen Schwierigkeiten; ein Abdichten der Regenwasser-Auffangfläche erscheint bei den großen Niederschlagsmengen in den Karstgebieten nicht notwendig, selbst wenn man einen Verlustkoeffizienten von 60 % in Rechnung stellt.

Feldzisternen wären notwendigerweise unter gesetzlichen Schutz und Strafsanktion zu stellen.

Einige wenige Orte im Bereiche des Karstes sind so glücklich, Brunnen anlegen zu können; es dürfen jedoch zu dieser Kategorie nicht auch jene gezählt werden, welche so tief oder überhaupt so liegen, daß der Grundwasserspiegel leicht erreicht werden kann. Bei solcher Lage ist die Möglichkeit, Brunnen anlegen zu können, selbstverständlich, solche fallen nicht in den Rahmen dieses Referates, ihre Prämissen, Anlage und Erhaltung sind die gleichen wie in sonstigen Gebieten außerhalb des Karstes.

Es handelt sich vielmehr um Brunnenanlagen in solchen Höhen, aus welchen das Erreichen des Grundwasserspiegels von vornherein ausgeschlossen erscheint.

Um in dieser Frage eine gewisse Klarheit und Präzisierung zu finden, ist es notwendig, auf die Karstgrundwasserfrage näher einzugehen, da in der Literatur gerade hierin Meinungsverschiedenheiten aufgetaucht sind, welche nicht geeignet erscheinen, die Arbeiten des Hydrotechnikers zu erleichtern, ihn in seinen Voruntersuchungen eher verwirren können und leider wirklich schon vielfach verwirrt haben.

Mit volstem Rechte sagt Supan (47), daß „der Begriff ‚Grundwasser‘ zu denjenigen gehört, über die in der Literatur die größte Verwirrung herrscht“. Daubree (11) nennt die oberste Grundwasseretage die „phreatische Schichte“, um die Bezeichnung „Grundwasser“ nur für die unterste, auf einer undurchdringlichen Gesteinsschichte aufliegende Etage reserviert zu wissen. Grund (46) führt die Bezeichnung „Karstwasser für die Wasser der phreatischen Schichte oder das „Kluftwasser“ Supans (47) ein, rechnet dieses jedoch auch mit zu dem Grundwasser des Karstes. Diese Bereicherung der Nomenklatur durch Grund hat bei den Hydrotechnikern des Karstes sowohl in den Entwässerungs- als auch Wasserversorgungsfragen sehr verwirrend gewirkt.

Das Grundwasser in Karstgebieten ist nur jene Wasserschichte, welche dem Hangenden der impermeablen Unterlage der durchlässigen Kalke aufliegt. Dies wäre festzuhalten; denn alles Wasser in den durchlässigen Kalken selbst ist zirkulierendes Kluftwasser, welches sich von den Gewässern der oberirdischen Horizontalentwässerung nur dadurch unterscheidet, daß es in unterirdischen geschlossenen Räumen verschiedenster Größe und Ausdehnung horizontal und vertikal, perennierend und periodisch fließt bis es endlich den Horizont des Grundwassers erreicht und in dieses übergeht.

Für den adriatischen Karst liegt dieser Horizont gewöhnlich sehr tief und ist nur ausnahmsweise zu erreichen.

Das zirkulierende Kluftwasser ist jedoch in allen Horizonten verteilt, bildet Flüsse, Bäche, Quellen und Wasseransammlungen jeder Art vom kleinsten Tümpel bis zu den größten seeartigen Reservoirs von vielen Tausend Kubikmeter Wasservorrat.

Durch das Anfahren solcher Kluftwasseradern und Behälter ist eine ausgiebige Wasserversorgung ermöglicht.

Hierher gehören auch die „Grundwasser-Dolinen“ Cvijič (12) (l. c. p. 21). Ballif (55) (l. c. p. 82 T. I) erwähnt mehrere Wasserversorgungsanlagen, welche durch Benützung des Kluftwassers in Betrieb gesetzt wurden und sagt, daß nur durch genaue Beobachtungen und Forschungen, nicht aber durch aufs Geratewohl unternommene Bohrungen oder das Abteufen von Schächten zum Ziele, das heißt zur genauen Feststellung der unterirdischen Wasserläufe gelangt werden kann.

Hierin liegt der Schwerpunkt der ganzen Frage.

Die Höhlenforschung in den Karstgebieten, welche vor Jahren einen so guten Anlauf genommen und schöne Resultate gezeitigt hat, ist merklich abgeflaut und nur mehr dem Privatfleiß überlassen. Nicht zum Letzten haben die falschen Auffassungen in der Grundwasserfrage diesen Rückgang mitverschuldet.

Die Höhlenforschung — nicht nur als ein Teil der geographischen Wissenschaft — sondern als ein integrierendes hervorragendes Hilfsmittel des Meliorationswesens im besondern — wird wieder kräftigst einzusetzen haben, um die vielen Fragen der subterranean Hydrographie einer Lösung näher zu bringen; Kartographische Aufnahmen werden uns die unterirdische Wasserzirkulation vor Augen führen und es ermöglichen, auch die Kluftwässer der Wasserversorgung in den Karstgebieten dienstbar zu machen. Von dieser Art der Wasserversorgung wird noch manch schöner Erfolg zu erhoffen sein.

Wie schon früher erwähnt, ist der Dolomit in den Karstgebieten quellenbildend und -fördernd. Tritt dieses Gestein in großer räumlicher Ausdehnung und Massigkeit auf, so ist die oberirdische Entwässerung oft in einer ganz bedeutenden Mächtigkeit entwickelt, es bilden sich sozusagen Oasen mitten in der Karstlandschaft und der Wasserreichtum dieser erlaubt die Anlage großartiger Wasserleitungen zur Versorgung der Ortschaften, oft ganzer Gemeinden mit dem nötigen Wasser sowie die Leitung der nötigen Wassermassen auf große Entfernungen bis in das Herz der ödesten Karstgebiete.

Wo solche subaerische Wasservorräte in der Natur vorhanden sind, wird die Wasserversorgungsfrage auf dem Karste nur mehr zur Geld- und rein technischen Frage. Die Durchführung solcher Anlagen unterscheidet sich in Nichts von den Wasserleitungsanlagen anderer Gebiete; eine Besprechung dieser würde nicht mehr in den Rahmen dieses Referats fallen.

Bedeutende Wasserhältigkeit findet man oft auch in den der Kreide schalenförmig aufgelagerten Schichten der Tertiärbildungen (Neogen, Eozen u. s. w.). Auch diese können den Grund zur Anlage bedeutenderer Wasserleitungen geben und für diese das Urreservoir bilden.

Wie schon eingangs erwähnt, ist bei jeder Wasserleitungsanlage — besonders jedoch bei solchen in den Karstgebieten — darauf Bedacht zu nehmen, daß der Wasserverbrauch nicht nur relativ mit der Vermehrung der Bevölkerung, sondern auch absolut, durch den leichteren Wasserbezug — sehr plötzlich und in oft ungeahnter Weise steigt.

Dies muß nun ganz besonders dann in Betracht gezogen werden, wenn eine der aufgelagerten tertiären Schichten als Sammelgebiet für die Wasserleitungsanlage gefaßt werden soll, weil diese auflagernden Schalen sehr oft nur von geringer Flächenausdehnung sind, ein kleines Sammelgebiet darstellen, in welches die Tagwässer der umliegenden Karsthänge einströmen und aufgespeichert werden. Diese natürlichen Reservoirs erweisen sich nach Anlage der Leitung oft als zu wenig ergiebig, tritt dann auch noch der Umstand hinzu, daß die umliegenden Hänge durch die Karstaufforstungsarbeiten in Bestand gebracht und bewaldet werden, so sinkt die Zufuhr der Tagwässer bedeutend, da dem Walde bekanntlich eine ganz eminent wasserhaltende Kraft innewohnt und anderseits sein Verdunstungsvermögen ein sehr großes ist.

Das Zusammenwirken solcher Umstände kann verursachen, daß eine Wasserleitung in kurzer Zeit den Anforderungen nicht mehr genügt und die Bewohner des betreffenden Ortes wenigstens teilweise wieder zu ihren alten Hilfsmitteln greifen müssen.

Die Wasserversorgung auf dem Karste würde nach dem Vorhergesagten nachstehende Postulate zu erfüllen oder das schon Begonnene weiter durchzuführen und auszubauen haben:

1. Die Verbesserung, Vergrößerung der schon vorhandenen und die Neuanlage von „Lokven“ (Karstilachen) als Viehtränke und Dorfteich, zur Wasserentnahme bei Feuersbrünsten, als Nutzwasserreservoir u. s. w. in den Dörfern selbst.

Verbesserung oder Neuanlage von „Lokven“ auf den Feld- und Weidefluren, wo solche notwendig.

Hiebei handelt es sich in erster Reihe um solche Fälle, in welchen schnell und mit geringen Mitteln geholfen werden soll.

2. Die Fassung von „Hungerquellen“, Aufspeicherung des Wassers dieser in gebauten Reservoirs und Weiterführung durch Wasserleitungen oder Pumpen, dort wo die Quelle nicht gar zu ärmlich ist und es sich vorwiegend nur um kleinere Ortschaften handelt. (Bedacht auf Wasserverschwendung!)

3. Die Anlage von „Zisternen“ in den Dörfern mit Speisung durch Traufenwasser und zwar nicht als eine große Dorfzisterne sondern als kleinere „Gehöftzisternen“ in größerer Zahl.

Die Anlage von „Feldzisternen“ mit Speisung durch das auf dem natürlichen Boden abfließende Tagwasser. Gesetzlicher Schutz mit Strafsanktion; Zisternenordnung.

4. Erweiterung der „Höhlenforschung“ zum Studium der Karsthydrographie unter der Leitung des Staates und mit staatlichen Mitteln. Verarbeitung der Ergebnisse dieser Forschungen zum Zwecke der Wasserversorgung für größere und kleinere Ortschaften.

Die Anlagen größerer Wasserleitungen mit dem Wasserbezug aus reichhaltigen natürlichen Wasseransammlungen fallen schon aus dem Rahmen der Karstfragen.

Alle diese Meliorationsanlagen sind nicht nur von großer wirtschaftlicher sondern auch von erhöhter militärischer Bedeutung in der wasserlosen Wüste des Karstes, weswegen sie immer und in erster Reihe unter das besondere Augenmerk der staatlichen Verwaltung gestellt werden und von dieser die werktätigste Unterstützung erhalten müssen. Der Karst selbst bietet so kümmerliche und ärmliche Existenzbedingungen, daß sich seine Bewohner nie

*und nimmer zu einer groß angelegten Lösung der Wasserfrage auf dem Karste aus eigener Kraft werden aufschwingen können.*

### *Conclusions*

*L'approvisionnement du Karst en eau, d'après ce que nous avons dit ci-dessus serait atteint par les demandes suivantes ou par l'accomplissement et l'achèvement de travaux déjà commencés:*

*1° Amélioration, agrandissement des „Lokven“ — mares du Karst — existantes, et création de nouvelles mares pour servir d'abreuvoirs, de mares de village, de prises d'eau pour bouches à incendie et de réservoirs d'eau potable, etc.*

*Amélioration et création de mares dans les champs et les prairies, là où ces mares sont nécessaires.*

*Il ne s'agit ici, en première ligne, que des cas où la transformation peut être faite rapidement et avec de faibles moyens.*

*2° Captation des „sources famineuses“ — Hungerquellen — emmagasinage de l'eau de ces sources dans des réservoirs maçonnés et abduction au moyen de conduites d'eau ou de pompes, là où les sources n'existent pas ou sont trop peu abondantes, et il ne s'agit présentement que des plus petits villages. (Bien surveiller le gaspillage de l'eau!)*

*3° Construction de „citernes“ dans les villages avec entretien par les eaux pluviales.*

*Il ne faut absolument pas construire une seule grande citerne pour le village, mais de très petites citernes de fermes et en très grand nombre.*

*Etablissement de citernes dans les champs avec entretien par les eaux coulant naturellement sur le sol.*

*Protection légale avec sanction pénale; établissement d'ordonnances concernant les citernes.*

*4° Développement de „la recherche des cavités“ par l'étude de l'hydrographie du Karst, sous la direction de l'Etat et avec les moyens administratifs.*

*Utilisation des résultats de ces recherches dans le but de pourvoir d'eau les villages grands et petits.*

*L'établissement de grandes distributions d'eaux au moyen de poches d'eau naturellement abondantes, sort du cadre de la question des eaux dans le Karst.*

*Toutes ces créations d'amélioration ne sont pas seulement d'une grande importance économique, mais elles ont aussi une grande valeur, au point de vue militaire, dans ce désert du Karst absolument privé d'eau: C'est pourquoi elles doivent être placées au tout premier rang dans l'attention particulière de l'Etat et par conséquent recevoir de celui-ci la protection la plus efficace.*

*Le Karst offre par lui-même des conditions d'existence si pitoyables et si misérables que ses habitants ne pourront absolument jamais, par leurs propres forces, arriver à une bonne solution de la question des eaux dans le Karst.*



NARODNA IN UNIVERZITETNA  
KNJIENICA



0000482538