

Stabel, G. und Müller, H. J.: Gegevens over de vruchtbaarheid van de Surinaamse binnenlanden. — Bull. Nr. 52, Dep. Landbouwproefstation in Suriname (1933).
Troll, C.: Tatsachen und Gedanken zur Klimatypenlehre. — Geograph. Studien, Festschr. f. Joh. Sölch, Wien (1951).
Ijzerman, R.: Outline of the geology and petrology of Suriname. — Utrecht (1931).

4,80—5,20 m Pflanzenmoder.
 5,20—6,00 m Grauer, noch nicht verfestigter kaolinartiger Ton.
 6,00—6,40 m Pflanzenmoder.
 6,40—7,50 m Grauer, noch nicht verfestigter kaolinartiger Ton, mit grobem Sand in 7,30 m Tiefe.
 7,50—7,70 m Toniger grober Sand.
 7,70—7,75 m Moor.
 7,75—8,50 m Grauer, kaolinartiger, noch nicht verfestigter Ton mit härteren Kaolinstückchen und einer dünnen Grobsandschicht in 8,00—8,05 m Tiefe.
 8,50—8,80 m Grauweißer Sand mit leicht humoser Oberschicht (8,50—8,55 m).
 8,80—9,00 m Grauer, kaolinartiger Ton.
 9,00—9,20 m Grauweißer Grobsand.
 9,20—9,50 m Sandiger weißer Kaolin.

Tabelle I

„Kreek“profil in der Tibitisavanne
 (Bohrung Tibiti Nr. 20 und 29, Linie III, km 2,3).

0 : —0,50 m Wasser.
 0,50—4,00 m Übernasser grauer Rahmton.
 4,00—4,80 m Sehr nasser, noch nicht verfestigter kaolinartiger grauer Ton.

DAS KARSTPHÄNOMEN IN DEN VERSCHIEDENEN KLIMAZONEN

1. BERICHT VON DER ARBEITSTAGUNG DER INTERNATIONALEN KARSTKOMMISSION

in Frankfurt a. Main vom 27. bis 30. Dezember 1953

Zusammengestellt von *H. Lehmann* mit Beiträgen von *J. Roglič*, *C. Rathjens*, *G. Lasserre*, *H. Harrassowitz*, *J. Corbel* und *P. Birot*.

Mit 3 Abbildungen u. 1 Bild

The Karst phenomena in the different climatic zones.

Summary: During the last days of December 1953 the first meeting of the committee on Karst phenomena took place in Frankfurt-on-the-Main, presided by the chairman Prof. Dr. *Herbert Lehmann*.

Besides the regular members of the committee some other Karst experts from Yugoslavia, France and Germany joined this meeting. The main topic of the meeting was the question of the development of the Karst phenomena in different climatic zones.

In his report Prof. *Roglič*, Zagreb, dealt with the interior plains or flat floored valleys (Poljes) caused by Karst corrosion. According to *Roglič*, the development of such interior Karst-plains, surrounded by higher mountains, is caused by the balance of surface water supply and subterranean drainage. They are restricted neither to special levels nor to the hypothetic groundwater levels as Krebs supposed. Bioclimatic factors especially work on the very borders of the plains. In *Roglič's* opinion the Karst-plain-development originates in the warmer climate of the Pliocene period.

Prof. *H. v. Wissmann*, Tübingen, Prof. *H. Lehmann*, Frankfurt, and Prof. *Lassère*, Bordeaux, dealt with the development of Karst in the tropics and within the humid summer-monsoon regions. The tropical Karst ("Kegelkarst") displays common trends in spite of its various kinds of development due to its age and rocks: the preparation of many Karst-cones within a limited district, the forming of Karst-border-plains within the level of the "Vorfluter". Precipitating with vertical walls ("Turm-Karst" according to *v. Wissmann* or "Mogotes" in Cuba) are worked out where cones are undercut at their borders by Karst corrosion. Very often you will still recognize the surface arrangement of a regular water system within a set of hollows (as *Lehmann* and *Lassère* stated). As well in Guadalupe as in Java there are rounded hills between the Karst-valleys called "mornes" by *Lassère*. Regarding the development of Karst arranged in regular lines ("gerichteter Karst"), there are, however, at work to a large extent faults and fissures within the limestone. (*Lehmann*). The activity of Karst corrosion is very intensive in all tropical Karst areas. During the discussion the lack of

chemical researches on the Karst phenomena became evident. As pertaining to this matter, Prof. *Harrassowitz*, Giessen, reported about his researches on the chemistry of rain-water. In general the pH-ration of rain-water is under 7, it can drop down to 3. It is supposed that besides the CO₂ production of the tropical vegetation and microorganisms saltpetre acid plays a great rôle with the intensive Karst corrosion within the tropics.

The third day, Prof. *J. Corbel*, Caluire, reported on Karst within the cold climatic areas (high mountains and polar zones). Within the nival areas where a great amount of melting snow is available at certain times, the development of large subterranean hollows is favoured. Within the areas of permanent frost of the high mountains there are according to *Corbel* no dolines, and the subterranean Karst phenomena receded. But the development of areas covered by karren (champs de lapiaz) will take place. Within the polar latitudes the karren are generally being destroyed by the influences of frost and snow. Surface solution, however, does not lack totally. Therefore you will find dolines on Spitzbergen. *C. Rathjens*, Munich, gave a report on his field-studies in the Alps and in Yugoslavia.

As to this report the optimum rate of karren development lies between 1700 and 2300 meters of altitude. Above that altitude, within the "Frostschutzone", the karren are destroyed by frost.

Prof. *Birot*, Paris, finally tried to give a climatic-morphological classification of the Karst phenomena based on theoretical considerations.

The last day, the committee discussed the problem of how to find an uniform international nomenclature of the Karst phenomena. Even the attempt of finding a comprehensive terminology for the Karst phenomena revealed the difficulties of such an undertaking.

Am Ende des Jahres trat in Frankfurt a. Main die anlässlich des 17. Internationalen Geographentages in Washington neu eingesetzte Kommission für Karstfragen unter Leitung des chairman *H. Lehmann*, Frankfurt a. Main, zu einer Arbeitstagung zusammen, nachdem bereits im Herbst ein Treffen deutscher, fran-

zösischer und jugoslawischer Karstforscher in Jugoslawien vorangegangen war. Außer den drei regulären Mitgliedern der Kommission waren eine Reihe von Karstspezialisten zur Arbeitstagung erschienen, in erster Linie aus Frankreich.

Die Tagung hat es sich zur Aufgabe gestellt, die wieder stark in Fluß geratene Karstforschung zu koordinieren, einen Überblick über den derzeitigen Stand der Forschung zu geben und die Aufgaben für zukünftige Forschungen zu präzisieren. Es ergab sich von selbst, daß hierbei klimamorphologische Fragen sehr stark im Vordergrund standen.

Wie Prof. *Chabot*, Paris, in einem kurzen Überblick über die Geschichte der Karstforschung ausführte, befinden wir uns gegenwärtig in einem Stadium, das eine gründliche Revision der klassischen Anschauungen nicht nur erlaubt, sondern geradezu fordert. Wie die Morphologie überhaupt, so begann auch die Karstforschung mit einer reinen Deskription der Phänomene, die ihren zusammenfassenden Namen Karsterscheinungen bekanntlich nach einem Landschaftsnamen im nordwestlichen Jugoslawien erhalten haben.

Die zweite Epoche der Forschung gipfelte dann in den großen morphologischen Hypothesen der Karstgenese, die vor allem durch *Albrecht Penck*, *Joan Cvijić*, *Emm. de Martonne* und andere Klassiker der Morphologie entwickelt wurden und die durch Anwendung der *Davisschen* Zyklen Theorie auf das Karstphänomen durch *Alfred Grund* zu einem vorläufigen Abschluß gelangt zu sein schien. Die Theorie der zyklischen Entwicklung erwies sich so stark, daß man die gedanklich entwickelte Formenreihe in allen Karstgebieten der Erde wiederzuerkennen glaubte, und selbst die Einreihung so bizarrer und ungewöhnlicher Formen, wie sie *J. V. Daneš* aus den tropischen Karstgebieten von Jamaica und Java beschrieb, in den „normalen“ Karstzyklus lange Zeit unwidersprochen blieb. Indessen mehrten sich nach dem ersten Weltkrieg die Forschungen, deren Ergebnisse sich nicht in die klassischen Anschauungen einfügen ließen. Die Vorstellung eines einheitlichen Karstwasserspiegels, von der *Grund* ausgegangen war, und an der auch noch *N. Krebs* in seinen letzten Karstarbeiten festhielt, wurde durch theoretische Erwägungen und praktische Erforschungen weitgehend erschüttert. In der Frage der Karstverebnungen kam man zu anderen Anschauungen als sie *Cvijić* vertreten hatte. Schließlich erwiesen sich auch die tropischen Karstgebiete als Ergebnis einer klimabedingten Sonderentwicklung und somit als nicht einfügbar in den Formenschatz des Dinarischen Karstes. Gerade hier zeigte es sich, wie sehr die Zyklen Theorie die Rolle eines starren Denkklišees gespielt und dadurch die unbefangene Beobachtung gehemmt hatte.

Seither ist eine Revision der klassischen Anschauungen im Gange, die sich freilich in den Lehrbüchern noch uneingeschränkt behaupten. Wie der Verlauf der Tagung erwies, bedingen namentlich auch die klimatischen Faktoren neben zahlreichen anderen eine nicht unerhebliche Variation des Formenschatzes und des Entwicklungsganges im Karst. Es darf aber betont werden, daß diese Erfahrungen zunächst unabhängig von den Ergebnissen der modernen klimatischen Morphologie gewonnen wurden. Sie bedürfen auch noch

einer gründlichen systematischen Untersuchung, ehe sie in das generelle Bild der klimatischen Morphologie eingefügt werden können, wenn man nicht Gefahr laufen will, ein neues Klischee an die Stelle des alten zu setzen, und damit die unbefangene Beobachtung zu beeinflussen. Karten über die Verbreitung der Karsttypen, wie die von *H. P. Kosack* in *Petermanns Mitteilungen*, 1952 Heft 1, erscheinen daher entschieden verfrüht. Andererseits ist es wohl aber auch nicht mehr möglich, mit den klassischen Begriffen: *Doline*, *Uvala*, *Polje* usw. auszukommen, da diese an einen bestimmten, keineswegs weltweit verbreiteten Typus, nämlich den des Dinarischen Karstes, anknüpfen und sich die Formen, z. B. des Tropischen Karstes, mit ihnen nicht hinreichend beschreiben lassen.

In der Reihe der Spezialreferate, die der Arbeitstagung zur Diskussionsgrundlage dienten, berichtete zunächst Prof. *Roglić*, Zagreb, in einem zusammenfassenden Überblick über:

Korrosive Ebenen im Dinarischen Karst

„Auf der Welt gibt es nur wenige Gegenden, in denen die Rumpfflächen so gut entwickelt sind, wie im Dinarischen Karst. Die Ebenen sind um so ausdrucksvoller entwickelt, je reiner die Kalksteine sind. Viele dieser Plateaus sind von allen Seiten von Erhebungen umgeben, und es liegt kein Grund zur Voraussetzung vor, daß sie erst durch jüngere Störungen diese Lage angenommen hätten. Die Ränder dieser Ebenen sind in der Regel scharfkantig und um so ausgeprägter, je reiner die Kalksteine sind. Sie öffnen sich nicht in der Richtung der Mündungen und setzen sich auch nicht flußaufwärts in Terrassen fort, wie es in der Regel bei Flußgestaltungen geschieht. Auf den Plateaus findet man ausnahmsweise Quarzkiesel.

Die Entstehung absonderlicher Ebenen infolge Erosion und Denudation im Grundwasserniveau (*Krebs*) ist unmöglich, weil das Grundwasser stagniert oder sehr langsam abfließt und einer erosiven Tätigkeit nicht fähig ist.

Die Entstehung durch Abrasion käme nur für jene Ebenen in Betracht, die sich am Rande neogener Seebassins, wie z. B. im Bereiche der geräumigen Poljen West-Bosniens, befinden. Aber, während die Schichten der Seeeablagerungen gewaltig gestört sind, sind die Plateaus unmerklich oder gar nicht eingebogen und in die Profile der Seeschichten eingeschnitten. Die Ebenen sind also jünger als die Seen und die Störungsvorgänge ihrer Ablagerungen.

Die Übereinstimmung der Ebene mit der Reinheit der Kalksteine gibt vielmehr Anlaß dazu, daß wir ihre Entstehung mit den korrosiven Prozessen, denen in erster Linie reine Kalksteine unterliegen, in Zusammenhang bringen. Am Rande feuchter und gut bewachsener Anschwemmungsebenen ist der korrosive Vorgang besonders stark und zumal an den Abflusseiten des Wassers, sowie an Stellen, wo die Feuchtigkeit und die organogenen Prozesse am wirkungsvollsten vor sich gehen; das sind aber in der Regel zugleich auch Randteile, die aus reinem Kalkstein zusammengesetzt sind. Von verschiedenen Säuren und Mikroorganismen werden Kalksteine eindringlich korrodiert — ein Prozeß, welcher sich heutzutage in den Tropen entwickelt.

Die Bildung solcher korrosiven Ebenen ist aber nicht an bestimmte unterirdische Wasserniveaus geknüpft, sondern an den Zufluß des Oberflächenwassers, von dem auch die Randvegetation genährt wird. Im Kontakt mit den Kalksteinen versickert es und fließt auf unterirdischem Wege ab. Durch die Kanäle unterirdischer Abflüsse verschwindet aber nicht nur das Wasser, sondern auch die Kalklösung: korrosive Ebenen können demnach auch in geschlossenen Einsenkungen entstehen.

Voraussetzungen zur Entstehung geschlossener korrosiver Ebenen bestehen dort, wo ein Gleichgewicht zwischen dem Oberflächenzufluß und dem unterirdischen Abfluß vorhanden ist, was zugleich auch die Stabilität des Plateaus bedingt. Korrosive Ebenen finden wir in verschiedenen Höhen.

Die große Verbreitung solcher Plateaus sowie die Seltenheit ihrer Bildung unter heutigen Umständen führen uns zur Annahme, daß in verfloßenen geologischen Perioden wohl günstigere Bedingungen für die Entstehung dieser Plateaus bestanden haben. In die korrosiven Plateaus sind Cañontäler gegenwärtiger Wasserläufe eingeschnitten. Im Cañon der Neretva ist das fluvioglaziale Material der Würm-Eiszeit, die einzig im dinarischen Gebirge festgestellt wurde, abgelagert. Die Cañons stammen demnach aus der Vorwürmzeit, während die Ebenen älter als die Cañons sind. Andererseits schneidet die Ebene im Gebiet der mittleren Una und Korana in die gestörten unterpliozänen, pontischen Schichten des Beckens von Bihać ein — ein Beweis, daß sie jünger ist als die Ablagerungen und Störungen der Seeschichten. Analoge Umstände stellen wir im Cetinatal sowie im Gebiete der Karstpoljen West-Bosniens fest. Daraus folgt, daß die korrosiven Ebenen des Dinarischen Karstes im Laufe des Oberpliozäns gestaltet wurden.

Aus paläoklimatischen Untersuchungen ist ersichtlich, daß zur Zeit dieser geologischen Epoche in unseren Gegenden tropisches Klima herrschte. Bei diesem Klima ging am Rande feuchter und gut bewachsener Terrains ein intensiver biochemischer Prozeß von Kalklösung und die Erweiterung korrosiver Ebenen vor sich. Die weitläufige Entfaltung der Ebenen beweist auch deutlich, daß dieser Prozeß im Laufe einer langen und stabilen Periode, die für das Oberpliozän allerdings charakteristisch ist, vor sich gegangen ist.

Im Dinarischen Karst bestehen also Formen, in denen sich mannigfache klimatische Verhältnisse sowie Prozesse, die ihnen entsprochen haben, widerspiegeln. Die weiten Plateaus sind Überreste tropischen Karstes, der hier im Oberpliozän entwickelt gewesen ist.“

(*J. Roglić*)

In der Diskussion der vorgetragenen Auffassung wurde darauf hingewiesen, daß der dinarische Raum im Pliozän wahrscheinlich nicht im Bereich eines feucht tropischen Klimas gelegen habe, also nicht die Voraussetzungen des heutigen tropischen Kegelkarstes gegeben waren. Die durchweg geraden Hänge der kegelförmigen Humi weisen eine Hangneigung von nur 20—22° auf, während die isolierten Restberge des chinesischen Turmkarstes und auch die „Mogotes“ auf Cuba wesentlich steiler sind. Außerdem

fehlt an den Rändern der Poljen bzw. der Karstverebnungen jedes Anzeichen einer „Lösungsunterschneidung“, wie sie für die tropischen Karstrandebenen und die intramontanen Karstverebnungen beobachtet werden. Demgegenüber wurde wohl mit Recht auf die postpliozänen Vorgänge hingewiesen, die sehr wohl eine Umbildung ehemals tropischer Formen zu der heutigen typischen Hum-Form bewirkt haben könne. Gewiß darf die oberflächliche Abtragung in dieser Klimaperiode nicht unterschätzt werden. Es ist daher keineswegs zu erwarten, daß sich Vorzeitformen aus dem Pliozän über den ganzen wechselvollen Klimablauf des Diluviums hinweg bis heute rein erhalten haben könnten.

Wesentlicher erscheint der Einwand, daß in den Gebieten zwischen den Karstverebnungen keine Anzeichen eines wenn auch überarbeiteten tropischen Kegelkarstes vorliegen, vielmehr hier immer nur der Dinarische Dolinenkarsttypus entwickelt ist. Es gibt im Dinarischen Karst nur wenige Stellen, an denen Kuppen- oder Kegelformen von annähernd dem gleichen Ausmaße auftreten, wie man sie in den tropischen Gebieten beobachten kann. So etwa auf dem Wege von Popovo-Polje nach Dubrovnik oder in der Nachbarschaft von Cetinje. Jedesmal handelt es sich jedoch hier nur um vereinzelte Formen ohne die für das tropische Gebiet typische Häufung auf engem Raum.

Auch das zweite Referat, vorgetragen von *C. Rathjens*, München, befaßte sich mit Karstproblemen des dinarischen Raumes:

Zur Frage der Karstrandebene im Dinarischen Karst.

„Zur Erklärung der Ebenheiten im Karst hat *K. Kayser* den Begriff der Karstrandebene eingeführt. Diese soll sich rezent im Inundationsniveau der Küstenebenen (Skutarisee und Neretva-Ebene) und in den Poljen weiterbilden, während der Stockwerkbau des Karstes aus gehobenen, verbogenen, verstellten und außer Funktion gesetzten alten Karstrandebenen zusammengesetzt ist. Auf einer Reise durch den Dinarischen Karst im Sommer 1953 bin ich zu dem Ergebnis gekommen, daß es dort rezente, in Weiterbildung begriffene Karstrandebenen nicht gibt. *K. Kayser* hatte schon selbst erkannt, daß es im allgemeinen im Inundationsniveau keine Erscheinungen der Unterschneidung gibt. Die Auffassung *K. Kayser*s steht vor allem in den Küstenebenen im Widerspruch zur eustatischen Schwankung des Mittelmeers seit dem Würm. Der gerade Verlauf der 100-m-Tiefenlinie zeigt, daß seit dem würmzeitlichen Tiefstand des Meeres keine nennenswerten tektonischen Bewegungen mehr stattgefunden haben. Die Ebenen an der Neretva und Zeta bestehen nicht aus anstehendem Kalk, sondern sind von etwa — 90 m aufgeschüttet. An der Neretva sind die fluvioglazialen Schotter im Untergrund der Ebene erbohrt. Die Ebenen verhüllen ein eiszeitlich geformtes schärferes Relief, die vermeintlichen „Inselberge“ sind nicht rezent, sondern die Spitzen eines nicht nur aus eustatischen, sondern auch aus klimatischen Gründen stärker zertalten Geländes. Das gleiche gilt vielfach für die Poljen. Zahlreiche Poljen sind, wie *J. Roglić* erstmals konstatiert hat, bis zum Rande mit Schottern erfüllt, haben also seit der letzten Kaltzeit keine Erweiterung mehr erfahren. Für die

von K. Kayser angeführte Erweiterung im Überschwemmungsniveau lassen sich viele Gegenbeispiele nennen. Ebensovienig konnte ich Unterschneidungen an den Stauseen hinter Kalktuffbarrieren (Plitvice und Krka) beobachten. Daraus ist zu folgern, daß die Karstverebnung im Dinarischen Karst eine Vorzeitform ist und aus einem wärmeren, ausgesprochen wechselfeuchten Klima stammt. Ich stimme J. Roglič zu, der die Karstebenen im wesentlichen in das oberste Tertiär datiert. K. Kayser ging von falschen Voraussetzungen aus und hat sowohl die Eustasie wie auch den Klimawandel der Vergangenheit vernachlässigt. Der Gedanke der Karstrandebene war jedoch richtig, der Begriff sollte daher beibehalten werden. Untersuchungen im tropischen Karst haben gezeigt, daß die Karstrandebene dort ein wesentliches Element des Formenschatzes ist.“ (C. Rathjens)

Die Diskussionspartner waren sich darüber einig, daß die seitliche Verbreiterung der intramontanen Karstverebnung auf dem Wege der Karst-Korrosion erfolgt sein müsse, wobei den „biochemischen Prozessen“, wie sie Roglič zunächst etwas vage bezeichnete, eine entscheidende Rolle zufallen dürfte. Unklar bleibt zunächst die Frage der Bindung solcher Verebnungen an ein bestimmtes Niveau. H. v. Wißmann und H. Lehmann wiesen darauf hin, daß in tropischen Karstgebieten die Entstehung größerer Verebnungen im großen und ganzen an das Niveau des Vorfluters gebunden seien. Der Begriff des Vorfluters macht die Hypothese eines einheitlichen durchgehenden Karstwasser-Spiegels unnötig und erlaubt die durch zahlreiche Beobachtungen bestätigte Annahme von mehr oder minder unabhängigen, ja sich zuweilen überschneidenden karsthydrographischen Systemen. Möglicherweise liegen im Dinarischen Karst ganz spezielle Verhältnisse vor, die das Entstehen von Poljen innerhalb des Gebirgskörpers in verschiedenen Höhenlagen ermöglichen. Kaum eines der genauer bekannt gewordenen tropischen Karstgebiete besitzt auch die Ausmaße des Dinarischen Karstes, was bei der Diskussion wohl nicht vergessen werden darf. Daß in der Anlage und Anordnung der Poljen im Dinarischen Karst auch tektonische Verhältnisse direkt und indirekt eine Rolle spielen, wie das namentlich von P. Birot, Paris, unterstrichen wurde, braucht nicht gelehnet zu werden. In der Tat ist die Häufung der in der Streichrichtung der Faltung angeordneten Poljen eine Besonderheit des Dinarischen Karstes. Sie würde sich nach Roglič allein schon aus der dinarischen Richtung der Gesteinsgrenzen erklären. P. Birot wies dabei an Hand jugoslawischer Beispiele darauf hin, daß auch schmale Horste zur Entstehung von Poljen führen können, wenn die wasserundurchlässige Unterlage des Kalkes in ihrem Bereich so hoch liegt, daß im darüberliegenden Kalk das hydrographisch wirksame Kluftsystem zwangsläufig durchflutet wird, während beiderseits tiefer Karst mit einem mehr oder minder mächtigen „trockenen Stockwerk“ vorliegt, in dem die Lösungsprozesse sehr viel langsamer vor sich gehen. Die Entscheidung darüber, ob derartige Anschauungen in einem größeren Ausmaße eine zutreffende Erklärung für die Poljen geben können, scheidet vorläufig noch an unserer geringen Kenntnis der Karsthydrographie. Im übrigen ist sie wohl nicht maß-

gebend für die prinzipielle Frage des Verebnungsvorganges selber. Hier können wahrscheinlich sorgfältige Untersuchungen in den tropischen Karstgebieten, bei denen solche Verebnungen in statu nascendi getroffen werden, weiterhelfen. Die Karstforschung hat gerade in einem Gebiet begonnen, in dem der mehrfache Klimawechsel seit Beginn des Verkarstungsprozesses eine besondere Komplikation verursacht. In den inneren Tropen ist dagegen der Karstprozeß von Beginn an bis heute unter den prinzipiell gleichen klimatischen Bedingungen verlaufen, so daß wir hier nicht zwischen eventuellen Vorzeitformen und rezenten Vorgängen zu unterscheiden haben. Unter diesem Aspekt erscheinen die Untersuchungen in diesen tropischen Gebieten besonders förderlich für die Karstforschung, wenn auch unter dem selbstverständlichen Vorbehalt, daß eine Übertragung der dort gewonnenen Ergebnisse auf den Karst der gemäßigten Breiten ebenso wenig vorbehaltlos zulässig ist wie umgekehrt.

Der zweite Tag der Arbeitstagung war daher dem Karstphänomen in den Tropen gewidmet. Als Diskussionsgrundlage dienten die gesondert wiedergegebenen Referate von H. Lehmann, Frankfurt, über die Karstgebiete der Großen Antillen und H. von Wißmann, Tübingen, über die von ihm untersuchten Karstgebiete in Südchina und Hinterindien, vgl. S. 122. Sie wurden ergänzt durch Ausführungen von W. Panzer, Mainz, und einen Bericht von G. Lasserre, Bordeaux:

Notes sur le Karst de la Guadeloupe

« Par 16 ° de Latitude Nord, sous un climat tropical océanique, Grande-Terre et Marie-Galante sont deux îles karstifiées de l'archipel guadeloupéen. Elles sont formées de calcaire madréporique miocène, dont l'épaisseur maxima est de l'ordre de 200m à Marie-Galante et de 150m en Grande-Terre. Ce calcaire repose sur des tufs volcaniques marins qui feutrent un socle volcanique pénéplané, dont M. Barrabé a révélé l'existence dans l'île voisine de la Désirade ¹⁾. Ce socle, invisible à Marie-Galante, n'apparaît que dans l'angle Sud-Ouest de Grande-Terre. Les calcaires qui constituent les deux îles présentent des facies variables: calcaires durs, massifs, appelés « roches à ravets », alternant avec des bancs plus tendres qui jouent un rôle prédominant à mesure qu'on s'élève dans la série, et qui constituent la plus grande partie des collines et des plateaux des deux îles.

Trois types de paysages résultent de l'évolution morphologique de ces tables calcaires sous climat tropical humide:

1. Des surfaces d'aplanissement faiblement karstifiées;
2. des surfaces recouvertes d'argile de décalcification et taraudées de dolines;
3. une topographie chenillée et apparemment anarchique de « mornes » calcaires aux pentes vives, séparés par un lacis très dense et très complexe de

¹⁾ L. Barrabé: Rapport sur les résultats d'une mission pur le recherche du pétrole à la Guadeloupe (Ann. de l'office national des combustibles liquides), 1934, n° 4, p. 625 à 661.

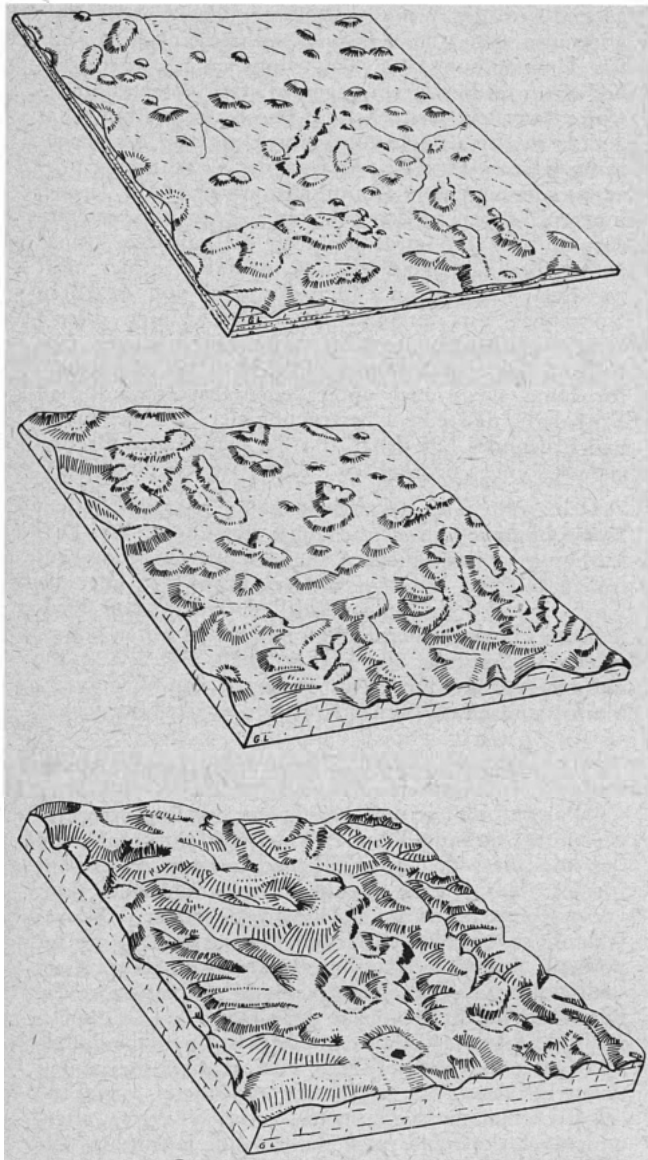


Abb. 1: L'évolution du relief en Grande-Terre.
(Guadeloupe).

Dissection fluvio-karstique du plateau des Grand-Fonds et passage progressif à une topographie en „mornes“ calcaires émergeant de la plaine de niveau de base des Abymes (Kegelkarst). (D'après les feuilles 14 et 15 au 1/20 000^e, en courbes de niveau, de l'Institut Géographique National).

vallées sèches à fond plat (modèle de la région des Grands-Fonds de Grande-Terre et des hauteurs de Saint-Louis de Marie-Galante).

Quelques remarques peuvent être faites sur l'évolution karstique des îles calcaires de la Guadeloupe.

1. Karst à dolines et karst à vallées sèches.

Les dolines ne peuvent naître, évoluer et survivre que sur les surfaces d'aplanissement dont l'horizontalité est suffisante pour entraver l'écoulement des

eaux courantes. L'horizontalité et l'absence de vallées sèches sont deux conditions indispensables pour que se développe et se maintienne un karst à dolines. Il est intéressant de noter que les secteurs à dolines sont partout menacés par le développement des réseaux de vallées sèches, ou plus exactement de vallées à écoulement temporaire. Celles-ci sont conquérantes, et, par évolution régressive, désorganisent les régions à dépressions fermées. On trouve en Guadeloupe de nombreux exemples de dolines et d'ouvalas capturés par de telles vallées.

L'épaisseur de la terra rossa, la puissance et la violence des «avalasses» tropicales, permettent un écoulement temporaire en pays perméable : la véritable vallée sèche, à morphologie figée, et dont les versants sont protégés par une «immunité karstique», est inconnue en Guadeloupe. Dans les pays tropicaux humides, sans doute conviendrait-il de parler plutôt de vallées à écoulement temporaire.

2. Morphogenèse du «Kegelkarst».

La région des Grands-Fonds de Grande-Terre et les hauteurs de Saint-Louis de Marie-Galante nous permettent de préciser la genèse du «kegelkarst», par comparaison de l'amont et de l'aval morphologiques de ces régions dites «à mornes et à coulées».

Il apparaît sans aucun doute que la dissection de la masse calcaire se fait par des vallées à fond plat, au tracé très sinueux, mais dont il est possible, sur les photos aériennes et sur les stéréominutes au 1/20.000^e de l'Institut Géographique National, de reconstituer l'ordonnement en réseaux hydrographiques hiérarchisés. L'essentiel de l'analyse morphologique doit porter sur l'étude de ces vallées. Leurs caractéristiques principales sont les suivantes :

- absence de lit mineur et d'eau courante, sauf dans la partie aval des principaux troncs collecteurs ;
- vallées à fond plat tapissé de terra rossa ;
- existence de mares circulaires peu profondes signalant l'emplacement de petites dolines ;
- raideur des versants convexes calcaires qui enserrant la vallée ;
- existence, dans le profil en travers, d'élargissements auxquels succèdent des étranglements, ce qui confère à la vallée un aspect ganglionnaire ;
- verrous karstiques séparant deux vallées autrefois unies ;
- enfin existence de « puisards » (ponors), le plus souvent engorgés de terra rossa, et généralement localisés au pied des versants calcaires, très rarement au milieu du talweg.

En dépit de l'empreinte karstique (dolines, puisards, verrous, étranglements, etc.), le trait le plus remarquable de ces vallées est leur raccordement régulier avec le niveau de base. Les nombreux profils en long que nous avons dressés de ces vallées offrent tous l'aspect d'une courbe à pente régulièrement décroissante de l'amont vers l'aval, et à concavité tournée vers le ciel, courbe signalétique de l'écoulement « normal ». Erosion chimique et entraînement mécanique conjuguent leurs effets pour raccorder rapidement la vallée au niveau de base. Seul le phénomène d'écoulement

temporaire est capable de rendre compte de cette particularité des «coulées» de Grande-Terre et de Marie-Galante. Lors des grandes pluies d'hivernage, ces vallées, — véritables chenaux imperméabilisés par la forte épaisseur de terra rossa —, permettent l'organisation d'un écoulement qui régularise promptement les profils en long grâce à l'amenuisement des matériaux opéré par l'érosion chimique.

Vers l'aval, ces vallées aboutissent à la plaine de niveau de base de l'Ouest de Grande-Terre et de Marie-Galante. Les cours anastomosés se multiplient et il devient le plus souvent impossible de suivre les talwegs sur cette plaine d'inondation karstique.

Que l'on analyse maintenant les interfluves, et l'on s'apercevra que la masse calcaire disséquée par ces vallées à fond plat, connaît un amenuisement de plus en plus poussé vers l'aval morphologique. On ne peut encore parler de «kegelkarst» dans la partie centrale des Grands-Fonds. Il subsiste même des lambeaux de la surface d'aplanissement primitive, repérables par de belles dolines qui attestent que les versants de vallée ne se sont pas encore recoupés; les vallées ont l'aspect de gorges entaillant une surface d'aplanissement rigide. Vers l'aval, le travail de dissection progresse rapidement et la topographie en «mornes» devient caractéristique. Peu à peu s'isolent de grandes masses calcaires, très longues et aux contours très sinueux; elles deviennent de plus en plus modestes vers l'aval, se tronçonnent, et donnent naissance au paysage classique des buttes coniques isolées émergeant de la plaine de niveau de base.

L'analyse du relief de Grande-Terre et de Marie-Galante conduit à formuler les conclusions suivantes sur la morphogenèse du «kegelkarst» de Guadeloupe:

- Le karst à dolines n'aboutit jamais à engendrer le paysage du karst «en relief» des pays tropicaux, karst formé d'une juxtaposition de cônes ou de tours calcaires isolés (kegel, turm, mogotes, organos, haystacks, etc.).
- Le «kegelkarst» suppose la dissection fluvio-karstique d'une masse calcaire soulevée en fonction d'un réseau de vallées à écoulement temporaire.
- Le «kegelkarst» est l'aboutissement, la forme ultime de cette dissection.
- Il exige l'existence, à l'aval, d'une plaine de niveau de base imperméabilisée par l'argile (argile de décalcification, argile fluvio-marine, apparition de la couche argileuse en place, sous-jacente aux calcaires). Cette plaine d'inondation karstique permet le développement d'une érosion chimique intense par sapement latéral. La virulence de cette attaque est attestée par les cavernes de dissolution chimique, si fréquentes à la base des pitons calcaires qui émergent de la plaine. C'est ainsi qu'en Guadeloupe, le paysage à kegelkarst est uniquement localisé à l'Ouest des deux îles calcaires, en fonction des plaines fluvio-marines développées grâce à l'abaissement Terre et de Marie-Galante, îles qui ont joué épirogénique de la partie occidentale de Grande-comme des blocs basculés, soulevés à l'Est et abaissés à l'Ouest. A l'Est des Grands-Fonds, le

passage de la topographie chenillée à la topographie calme de la surface d'aplanissement de Moule-Sainte-Anne, se fait sans kegelkarst. L'absence de plaine d'inondation karstique en est la cause.

Ainsi convient-il de mettre l'accent sur deux processus caractéristiques de l'évolution karstique en pays chauds et humides:

- l'importance de l'érosion fluvio-karstique en fonction de vallées à fond plat, appelées à tort vallées sèches, et qui sont en fait des vallées à écoulement temporaire;
- le rôle de la corrosion chimique latérale sur les plaines de niveau de base imperméabilisées par l'argile.

3. Originalité des «mornes» du kegelkarst guadeloupéen.

Les «mornes» calcaires isolés de Guadeloupe n'ont pas la vigueur des «mogotes» de Cuba ou de Puerto-Rico. Ce sont des «hums» coniques, et non point des «tours» aux versants subverticaux. Les différences lithologiques entre les calcaires rendent compte de cette dissemblance morphologique. Le développement du karst «en pitons» ou «en tours» n'est possible que dans les calcaires massifs. La nature friable des couches tendres de la série calcaire miocène de Grande-Terre et de Marie-Galante interdit la formation et le maintien des versants-murailles caractéristiques des mogotes de Cuba ou des pitons gothiques du Tonkin et du Yunnan.»
(G. Lasserre)

Diese Referate ergaben in ihrer Gesamtheit ein recht einheitliches Bild des tropischen Karstphänomens. Sie zeigten zwar, daß eine Reihe von physiognomisch sehr ins Auge fallenden Varianten des sogenannten tropischen Kegelkarstes vorliegen, daß aber gewisse übereinstimmende Merkmale bei ihnen festzustellen sind. Auch die Abweichungen im Formenschatz, die rein petrographisch bedingt sind, können heute schon weitgehend übersehen werden. Gemeinsam sind allen Kegelkarstgebieten folgende Züge:

1. Die isolierte Herausarbeitung einer großen Anzahl von Kuppen auf kleinem Raum gleich vom Beginn des Karstprozesses an. Unabhängig davon, ob die Isolierung durch ein oberflächlich angelegtes und erst später verkarstendes Talsystem erfolgt, wie es auf Java, Guadeloupe, zum Teil auch auf Puerto Rico feststellbar ist, oder ob der Prozeß von sich im Initialstadium bildenden Dolinen ausgeht.
2. Das außerordentlich rasche Tiefenwachstum der Dolinen bis zum Niveau des Vorfluters.
3. Die starke oberflächliche Korrosion, die sich in Gestalt von überaus scharfen und frischen Karren sowie in „Stalaktiten-Vorhängen“ vor überhängenden Partien an Steilwänden äußert.
4. Die Ausbildung großer Randebenen im Niveau des Vorfluters. Diese ziehen von den den Kalk begrenzenden undurchlässigen Gesteinen über die tiefer sitzenden Kalke hinweg und erhalten so den Charakter echter Kappungsebenen (Karstrandebenen).

5. Das Vorhandensein von Fußhöhlen oder gar Hohlkehlen im Niveau der Randecken, bzw. im Niveau der Hochwasserstände, so lange die Ebenen in aktiver seitlicher Weiterbildung begriffen sind.

W. Panzer wies mit Recht darauf hin, daß es in den südostasiatischen Monsungebieten auch in anderen Gesteinen zur Ausbildung von Felsflächen im Niveau des Vorfluters bzw. des Meeres und zur Isolierung einzelner meist recht steiler Felskuppen kommt (Canton-Delta!). Auch diese Vorgänge beruhen darauf, daß die Randzone der Verebnungen die Stelle besonderer morphologischer Aktivität ist, und hier die Zerstörung des anstehenden Gesteins am raschesten erfolgt. Trotzdem geben sich die Kegelkarst-Gebiete dem Kenner auf den ersten Blick zu erkennen. Gerade für die Ausbildung der Hohlkehle führte Panzer ausgezeichnete Beispiele nach eigenen Beobachtungen in Kwangtung an. Im übrigen wurde festgestellt, daß die ausgesprochenen Kegelkarstgebiete trotz ihrer meist dichten Waldbedeckung den Typus des nackten Karstes repräsentieren, wenn man darunter das Fehlen einer geschlossenen Bodendecke versteht. Die Vegetation stockt in den Spalten, Karren und Löchern des Gesteins, hat also direkt Kontakt mit dem Kalk.

Für die Anlage der Dolinen und Karstgassen ist sehr oft die Durchklüftung des Kalkes maßgebend. Herrschen bestimmte Kluftsysteme vor, so bedingen sie häufig einen gerichteten Karst, d. h. die reihenförmige Anordnung der einzelnen Kuppen, Kegel oder Türme. Andererseits ist aber die Klüftung für den Beginn und die Weiterentwicklung der Verkarstung nicht maßgebend. Wie seinerzeit von H. Lehmann am Beispiel des Gunung Sewu auf Java gezeigt werden konnte, und wie G. Lasserre in seinem Referat über Guadeloupe berichtete, ist sehr oft ein normal angelegtes Gewässernetz, das sich bei der langsamen Heraushebung des Gebietes bildet, der Ausgangspunkt der Verkarstung. Das gleiche läßt sich für Puerto Rico nachweisen. Auch diese Entwicklung kann zu einem gerichteten Karst führen. Schließlich macht sich auch das Ausstreichen der Schichten in der Anlage der Kuppen bemerkbar. Für die Anordnung der Kegel in einem Kegelkarst sind also verschiedene Ursachen meist kombiniert wirksam. Ein weiterer gemeinsamer Zug nahezu aller Kegelkarst-Gebiete ist die auffällig gleiche Höhenlage der Karstkuppen (nicht der in die Tiefe wachsenden Dolinen). Sie bilden in ihrer Gesamtheit meist so etwas wie eine Gipfflur, aus der man durch Einzeichnen von Isolinien noch eventuelle junge Verbindungen der Ausgangsfläche ableiten kann (H. Lehmann 1935). Die Natur dieser Ausgangsfläche bleibt jeweils eine offene Frage. Es kann sich um marine Abrasionsflächen handeln, ebenso gut aber auch um ältere Karstverebnungen, die durch Hebung einem neuerlichen Verkarstungsprozeß unterworfen wurden.

Die offensichtlich starken Lösungsvorgänge in den Tropen und den sommerfeuchten Subtropen Monsunasiens werfen die Frage nach ihrer Ursache auf. Diesem Fragenkomplex war daher ein weiterer Programmpunkt der Arbeitstagung gewidmet. Über den Chemismus der Lösungsvorgänge liegen bisher außerordentlich wenig Untersuchungen vor. H. Harrassowitz, Gießen, führte hierzu aus:

Chemisches Einwirken der Niederschläge auf den Karst

„Mitteleuropäische Verwitterung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Böden in zunehmendem Maße versauern und podsolieren. Im jugoslawischen Karst treten nach eigenen Untersuchungen (Chemie d. Erde, 4, 1928, Südeuropäische Roterde) entsprechende Bodenprofile auf, die grundsätzlich auf zunehmende Podsolierung hindeuten. Es ist daher erlaubt, von mitteleuropäischen Niederschlagsuntersuchungen auf den jugoslawischen Karst zu extrapolieren.

Die bei uns bekannte Säurezunahme wird wesentlich durch Mikrobentätigkeit erklärt. Dazu kommen bisher wenig beachtete und ungenügend untersuchte Eigenschaften der Niederschläge. Zunächst löst reines Wasser — abgesehen von seinem experimentell belegten Einwirken auf Silikate — bei 25 ° C in einem Liter 14 mg CaCO₃. Bei 1000 mm Jahresniederschlag würde dies 14 mg auf den Quadratmeter entsprechen, ein Wert, der zweifellos nicht vernachlässigt werden darf. In 10 Jahren würden dann von jedem Quadratmeter nacktem Karstkalk rd. 140 g Kalk chemisch abgetragen werden, was einem Würfel von 3,7 cm Kantenlänge entspricht. Dieser Wert kann aber in den regenreichen Tropen schon in einem Jahr erreicht werden.

Niederschlagswasser ist nun fast reines Wasser, wirkt aber über diese Eigenschaft hinaus besonders durch seinen, bisher nicht beachteten Gehalt an freiem Wasserstoff, der mit zahlreichen eigenen Messungen in Westdeutschland belegt werden kann. Durch welche Säuren das niedrige pH staubarmen oder -freien meteorischen Wassers entsteht, ist noch nicht klar. Da aber pH oft unter dem Wert eines an CO₂ gesättigten Wassers liegt und Methylorange umgefärbt wird, kommen auch andere stärkere Säuren in Frage, vermutlich Salpetersäure, die insbesondere bei tropischen Gewittern längst bekannt ist. Deutlich läßt sich im Experiment zeigen, wie Kalk das niedrige pH eines Regens durch Neutralisation hinaufsetzt.

Meeresnahe Kalke werden durch das Kochsalz des Meereswassers stark angegriffen, wofür unmittelbare Naturbeobachtungen vorliegen, z. B. bei Dubrovnik.“ (H. Harrassowitz)

P. Birot, Paris, wies in der Diskussion darauf hin, daß der Gehalt der Atmosphäre an Salpetersäure in den Tropen doppelt so groß ist wie in den gemäßigten Breiten, und daß man die Schärfe der tropischen Karren zum Teil wohl darauf zurückführen könne. Ein weiterer Faktor, der im ganzen für die Intensität des Karstprozesses in den Tropen stärker ins Gewicht fallen dürfte, ist die hohe CO₂-Produktion der Vegetation bzw. der Mikroorganismen. Aus Schweizer Untersuchungen (H. Bögli 1951) ergab sich, daß in Karstgebieten versickerndes Wasser nach Passieren einer Humusschicht ganz bedeutend an Härte zunimmt. Wie weit auch organische Säuren bei dem Lösungsprozeß eine Rolle spielen, läßt sich zur Zeit noch nicht angeben, da diesbezügliche Untersuchungen fehlen. Infolgedessen konnte die Diskussion darüber, auf deren Wiedergabe hier verzichtet werden muß, zu keinem befriedigenden Ergebnis kommen. Die Kommission erachtete es daher als dringend notwendig, daß derartige Untersuchungen in Gemeinschaft mit Biologen

und Chemikern baldmöglichst in tropischen Karstgebieten durchgeführt werden. Die morphologische Forschung muß indessen vorläufig von dem sichtbaren Effekt solcher Lösungsvorgänge ausgehen.

Der folgende Tag war den Karst-Phänomenen in den periglazialen Gebieten und in dem Hochgebirge gewidmet. In diesem Rahmen berichtete J. Corbel, Caluire, über Beobachtungen in den arktischen Gebieten, aus Groß-Britannien und aus dem Vercors. Sein kurzes Résumé sei hier in der Originalfassung wiedergegeben:

Les phénomènes karstiques en climat froid.

Les Karsts à prédominance nivale:

«L'hydrographie souterraine y est surtout influencée par la fonte des neiges. Il n'y a pas de permafrost, ni même simplement de sol gelé durant plus de 10 mois. La fonte des neiges introduit dans les réseaux souterrains des masses d'eau énormes. Toutes les précipitations de l'hiver se sont entassées, durant des mois, à la surface sous forme de neige. La fonte est généralement accompagnée par de fortes pluies de printemps. Ce sont des masses d'eau énormes qui circulent, sous terre, sous des pressions considérables. La puissance de

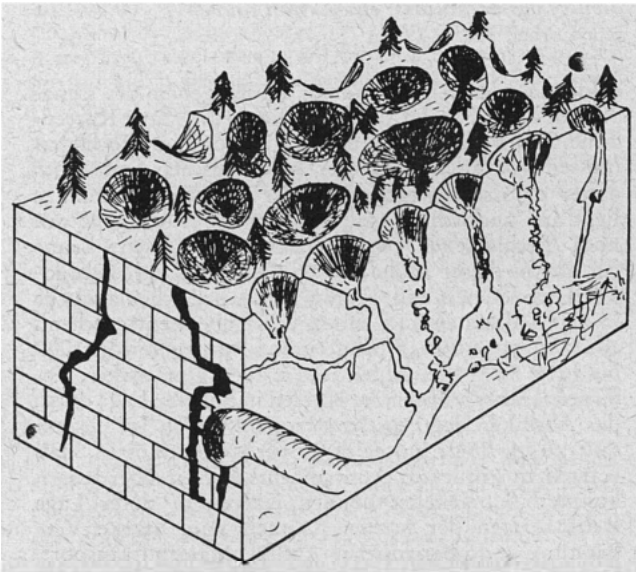


Abb. 2: Karst nivale. Ce bloc-diagramme théorique est inspiré par le cas du Vercors Septentrional.

On distingue:

1. La surface du plateau, crevée de dolines énormes, est souvent réduite à de simples murailles dont la largeur est parfois inférieure à un mètre.
2. La coupe montre dans sa partie supérieure la formation des dolines, dissolution effondrement. La petite grotte haute qui a été indiquée peut être due soit à un ancien culot de sol gelé (cf. fig. 2), soit à une mince couche imperméable. Dans la partie inférieure on a représenté la concentration profonde des eaux dans de larges tunnels. Souvent ceux-ci se terminent par une grande branche ascendante.

Le manque de communication entre les différents conduits (face gauche) montre la jeunesse de ce karst, en grande partie post-glaciaire.

dissolution est accrue: par la pression, par la basse température favorisant la dissolution de CO_2 . Tout favorise le développement d'énormes conduits souterrains. Ce sont les régions de grottes immenses comme le Hölloch en Suisse (30 km.), les grottes géantes d'Autriche ou des Préalpes calcaires françaises (Vercors, Parmelan). L'extension des réseaux profonds a pour corollaire le développement de grandes dolines en surface. Ce sont soit des dolines de dissolution simples, soit des dolines d'effondrement. Les dolines géantes sont toutes polygéniques. Cette zone de dolines correspond généralement à la zone forestière alpine.

Les karsts à permafrost, type haut-alpin:

L'apparition du permafrost, ou même simplement du sol gelé 10 à 11 mois par an, bloque le développement des réseaux souterrains. Le ruissellement superficiel, surtout sous-nival, prend une grande place. C'est le domaine des grands champs de lapiaz. Les dolines disparaissent. Le réseau souterrain est embryonnaire. S'il existait auparavant il est envahi par la glace et la neige (glacière, gouffre-à-neige).

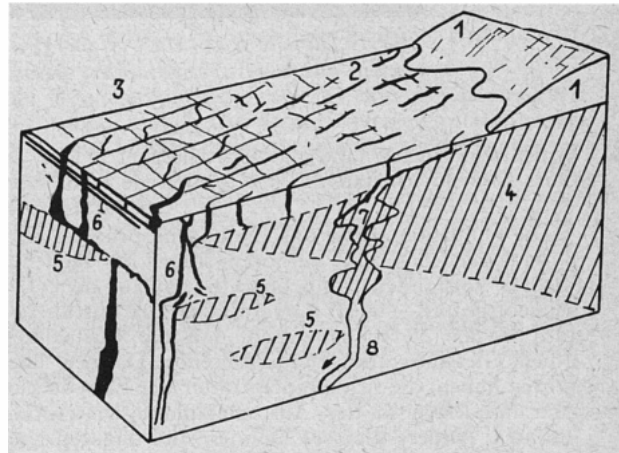


Abb. 3: Karst périglaciaire.

- 1) Glacier, 2) roches mountonnées, 3) lapiaz, 4) sol gelé, 5) culot de sol gelé, 6) gouffre débutant par une glacière ou névière, 7) ancien réseau karstique envahi par la glace, 8) écoulement profond sous le sol gelé, en réutilisant un réseau ancien.

Les karsts polaires:

Ils sont caractérisés par l'importance du permafrost qui peut dépasser 400 m. d'épaisseur et tient lieu de véritable couche imperméable. Dans les calcaires anciens, il existait déjà généralement un réseau souterrain, celui-ci est complètement occupé par la glace du permafrost. Celle-ci descend lentement par gravitation. Au bas de la couche gelée la température est supérieure à 0° , la glace fond. Elle alimente des cours d'eau souterrains qui résurgent sous le niveau de la mer.

En surface le gel joue un rôle énorme. Les lapiaz sont généralement détruits. Le gel exerce même une certaine action en profondeur dans tout le mollisol, et accidentellement dans le permafrost.

Le domaine des karsts polaires s'étend sur de larges étendues dans l'Arctique canadien (Victoria land, partie d'Ellesmere land etc.) à l'extrême Nord du

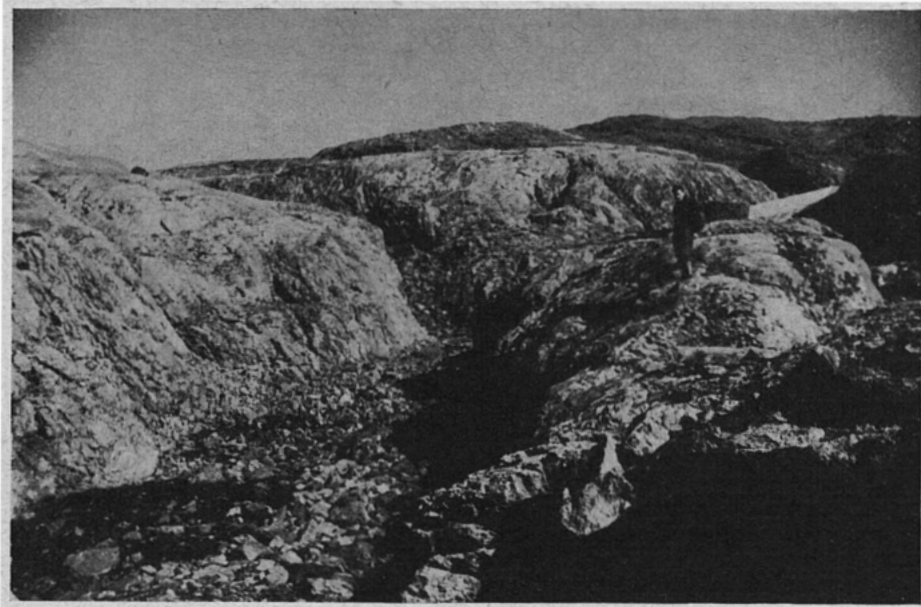


Bild 1: Dans le Karst du Spitzberg, à Blomstrand vallée sèche, envahie par des coulées pierreuses, petits lapiaz, gélivation intense, pas de dolines, circulation souterraine englacée. (photo exp. Corbel, Juillet 1952.)

Groenland (Peary land), au Spitzberg et à l'Ile aux Ours (Björnoya), dans le Nord-Ouest de la Sibérie.»
(J. Corbel).

Die Diskussion ergab, daß die Lösungsprozesse selbst unter Eisdeckung nicht aufhören, sofern nur fließendes Wasser vorhanden ist. Beobachtungen aus dem Tennengebirge und — wie P. Barrère, Bordeaux, ausführte — auch in den Pyrenäen zeigen, daß die würmeiszeitlichen Gletscher auch präexistierende Dolinen überfahren haben, die sich offenbar unter der Eisbedeckung zum mindesten in der Abschmelzphase weiterbilden konnten. Andere kleinere Dolinen sind dagegen nachweislich erst nachwürmeiszeitlich angelegt, z. B. die Dolinen in den frischen Karböden des Tennengebirges. Im Zusammenhang mit der Frage des Hochgebirgskarstes führte C. Rathjens jun., München, aus:

Karsterscheinungen in der klimatisch-morphologischen Vertikalgliederung des Gebirges
(Beobachtungen in den Ostalpen und im Dinarischen Karst)

„In den Ostalpen hat sich in jahrelangen Untersuchungen und in Fortsetzung der Arbeiten von O. Lehmann eine vertikale Gliederung der Karsterscheinungen feststellen lassen, die indirekt klimatisch bedingt ist. Unter der Schneegrenze liegt zunächst die Frostschuttzone, für die zu Unrecht der Ausdruck Scherbenkarst gebraucht worden ist. Etwa zwischen 1700 und 2300 m Höhe liegt eine ausgesprochene Karrenzone, die nicht allein durch den Bereich ehemaliger Glazialerosion, sondern durch starke flächenhafte Abtragung und ungenügende Bodenbildung hervorgerufen ist. Unter der Waldgrenze liegt die Zone der Ortsbodenbildung mit Skelettböden, wo Karren zurücktreten, aber die im übrigen meist älteren, häufig präglazialen Dolinen heute weitergebildet werden. Nur am

Südrande der Alpen und im Küstengebiet des Dinarischen Karstes folgt darunter die mediterrane Karrenzone. Die Bedingungen der Karrenzone im Hochkarst müssen vor allem nach der biochemischen Seite noch näher erforscht werden; in der gleichen Höhenlage liegt auf undurchlässigem Gestein die Almenzone mit noch geschlossener Pflanzendecke, andererseits kenne ich nur in dieser Höhe in den Ostalpen auch Pseudokarren auf Gneis und Granit. Das ganze Schema wurde in den Kaltzeiten nach unten verschoben, entsprechend einer würmeiszeitlichen Schneegrenzdepression von 1000 bis 1200 m in den Alpen und in den Dinarischen Gebirgen. Dabei wurden die Karren in höherer Lage durch das Absinken der Frostschuttzone zerstört. Im Gegensatz zu A. Bögli halte ich es für ausgeschlossen, daß Karren in größerem Ausmaß eine Eiszeit überdauern konnten. Umgekehrt können Karren in tiefer Lage Reliktformen der letzten Kaltzeit sein. Starke Verkarstung und oberirdischer Abfluß, Materialtransport, Denudation und Talbildung schließen sich aus. Im Dinarischen Karst gibt es eine Fülle von Vorzeitformen, Dellen, Kerbtäler, Schuttfächer, Schwemmkegel usw., die ihr Dasein und ihre Formung der Klimaänderung und der Herabdrückung der klimatisch-morphologischen Zonen in der Würmeiszeit verdanken. Die Formen stehen mit den fluvioglazialen Terrassen der größeren Flüsse in Verbindung und sind an der Küste beim eustatischen Ansteigen des Meeres seit der Würmeiszeit ertrunken. Bis nach Süddalmatien hin erreichten kaltzeitliche Schuttströme das Meer, während sie heute auf die höheren Gebirge beschränkt sind.“ (C. Rathjens)

Zur Frage der klimatischen Klassifikation der Verkarstungsvorgänge steuerte P. Birot, Paris, ein Referat bei:

Esquisse d'une étude zonale de l'érosion en pays calcaire

« La classification zonale proposée prend en considération la valeur respective de l'érosion superficielle et de l'érosion souterraine.

1° Climat périglaciaire à permafrost

Lorsque le permafrost est profond (le climat périglaciaire étant installé déjà depuis longtemps) l'érosion souterraine est réduite à zéro. L'érosion superficielle est active, spécialement dans les roches gélives dont le fendillement superficiel facilite la dissolution de plus, les eaux froides renferment beaucoup de CO².

2° Climat océanique frais et climat périglaciaire sans permafrost

Pas de permafrost. Action de dissolution très importante en profondeur et en surface. En effet les eaux sont abondantes (fortes précipitations et faible évaporation) et la décomposition lente de la végétation leur vaut un pH très acide (outre leur richesse en CO²). Ce processus s'exerce en surface et dans les canaux souterrains. Dans ces derniers, la perte de substance est accélérée par la pression et par la concentration des crues provenant de la fonte des neiges riches en CO²: alors qu'en surface des phénomènes d'immunité des pentes raides peuvent se manifester, puisque les tourbières ne s'y accrochent pas. Cependant les eaux acides de tourbières de plateau peuvent attaquer les parois raides inférieures.

Au total, dans le domaine océanique des hautes latitudes, l'alternance des deux types de climat précités explique que les calcaires soient généralement en creux.

3° Climat océanique doux.

Moins favorable à la dissolution superficielle, la température étant plus élevée et le pH voisin de la neutralité. Les eaux souterraines sont actives grâce à la température plus basse et à la pression. Mais le prélèvement de l'évaporation réduit leur volume. Malgré tout, la plupart des calcaires se comportent encore comme des roches assez tendres.

Dans les nuances subméditerranéennes aux pluies abondantes et concentrées, mais où la végétation naturelle est encore luxuriante, l'usure superficielle ne doit pas être négligeable, surtout au voisinage de la nappe d'inondation. Les versants raides reculent parallèlement à eux-mêmes, comme sous les tropiques, mais avec une pente d'équilibre moins forte: hums des poljés portugais, cantabriques, dinariques et tauriques.

4° Climat plus ou moins aride.

La perte de substance superficielle est réduite au minimum par suite de la discontinuité de la végétation (d'où faible action physique et chimique des racines), des températures élevées, de la discontinuité du sol susceptible de servir de réservoir d'humidité. Pratiquement toute l'usure se fait dans les chenaux souterrains où les eaux sont relativement fraîche. Non seulement les pentes raides, mais même celles qui sont modérées, sont frappées d'immunité. Cet avantage de l'érosion souterraine provoque un enfouissement rapide des eaux, d'où la dessiccation des zones voisines de la surface et leur paralysie. Le faible volume disponible

de ces eaux souterraines fait que l'évolution vers l'aplanissement d'ensemble est très lente. Le calcaire se comporte comme une des roches les plus dures.

5° Climat chaud et humide.

L'usure superficielle atteint sa valeur maxima, même et surtout sur des pentes raides.

a) Sans doute la température est élevée, ce qui réduit la teneur en CO² de l'eau de pluie. Mais en se décomposant, la végétation exhubérante fournit de l'acide carbonique naissant, dont la constante de dissociation est cent fois plus grande que celle de l'acide carbonique contenu dans l'eau de pluie. Il est susceptible de dissoudre beaucoup de calcaire sur un parcours très rapide, c'est-à-dire au voisinage immédiat de la surface et sur des pentes très raides. Si l'on ajoute l'action physicochimique exercée par les racines vivantes (émission d'ions positifs), on comprend l'intensité de la dissolution superficielle qui est maxima lorsque l'humus et les racines sont en contact avec la roche elle-même, c'est-à-dire encore sur les pentes raides. Comme l'humidité de l'atmosphère favorise la colonisation végétale, même sur des pentes raides, on comprend que celles-ci ne soient pas frappées d'immunité, bien au contraire.

b) Si le pouvoir dissolvant des eaux souterraines est relativement faible, leur température est relativement élevée, leur volume est important; en raison de l'abondance des précipitations et de leur concentration, elles remplissent sous pression les cavités karstiques sur une hauteur assez considérable. Comme d'autre part la surface s'abaisse très vite, on conçoit l'absence d'une zone sèche dont les effets ordinaires sont de paralyser l'érosion superficielle elle-même. Il faut y ajouter l'action de sapement des nappes d'inondation qui apparaissent de bonne heure dans cette évolution cyclique accélérée." (P. Birot)

Ergänzend berichtete H. v. Wißmann über die Karsterscheinungen im Steppenklimate sowie in den lufttrockenen und luftfeuchten Wüstenklimaten Hadramauts, über die im nächsten Heft der „Erdkunde“ gesondert referiert wird.

Im Formenschatz der in den gemäßigten Breiten gelegenen Karstgebiete stecken freilich auch solche Formen, die nicht dem heutigen Klima entstammen. Die Frage der fossilen Formen war denn auch ein weiterer Verhandlungsgegenstand. Da der Ausdruck „fossilisiert“ im Französischen eine begrabene (verschüttete) Form meint, kann er zu Irrtümern führen. Es ist daher vielleicht besser von vergrabenen bzw. wieder aufgedeckten Formen einerseits zu sprechen, wie sie etwa im Fränkischen Jura von R. G. Spöcker beschrieben worden sind, andererseits von Erbformen, so wie sie Büdel in der Kuppenalb zu erblicken meint. Bei der Beurteilung, ob sich die Formen des tropischen Kegelkarstes in den gemäßigten Breiten aus der Zeit eines tropischen Klimas vererbt haben können, muß auf einen Umstand hingewiesen werden, der leicht vergessen wird. Wie alle Aufnahmen aus tropischen Karstgebieten und vor allen Dingen auch die vorliegenden Spezialkarten aus Java, Puerto Rico und dergleichen zeigen, ist eine Häufung der Kegel auf kleinem Raum für sie charakteristisch. Die Kuppen der Schwäbischen

Alb zeigen demgegenüber bei ähnlicher relativer Höhe eine viel weitständigere Streuung. Eine Gegenüberstellung der entsprechenden Kartenausschnitte führt diesen nicht zu übersehenden Tatbestand sehr drastisch vor Augen. Im einzelnen wird es schwer sein, eine Form des tropischen Kegelkarstes heute in den gemäßigten Breiten wiederzuerkennen, solange das Ausmaß und die Art der inzwischen erfolgten Umbildung nicht bekannt ist.

Der letzte Tag der Arbeitstagung war schließlich den prinzipiellen Fragen der Schaffung einer einheitlichen internationalen Nomenklatur der Karstphänomene gewidmet. Zweifellos werden an sich richtige Beobachtungen mißverstanden, wenn sie unter Ausdrücken subsummiert werden, deren Inhalt schwankend ist. Die Amerikaner gebrauchen z. B. für Doline und Ponor oft gleichermaßen das Wort sinkhole. Andererseits ist der aus dem Dinarischen Karst stammende Begriff der Doline an bestimmte Vorstellungen geknüpft, die nicht mehr auf die mit dem gleichen Wort bezeichneten Hohlformen in den tropischen Gebieten zutreffen. Nach dem Abschluß der klassischen Epoche der Karstforschung sind eine Reihe von morphologischen und hydrographischen Phänomenen des Karstes bekannt geworden, die mit der klassischen Nomenklatur nicht zu erfassen sind. Allein der Begriff des „Kegelkarstes“ mag hier als Beispiel dienen.

Die Kommission konnte aus Zeitmangel eine solche einheitliche Terminologie nur an einem einzigen Bei-

spiel durchführen, nämlich an den Kleinformen, den Karren. Schon hierbei zeigte sich, wie außerordentlich notwendig eine Vereinheitlichung der Klassifizierung und der Benennung der Phänomene ist, aber auch welche Schwierigkeiten sich dabei ergeben.

ANSCHRIFTEN DER TAGUNGSTEILNEHMER

- Prof. Dr. *J. Roglič*, Geografsko Društvo, Société de Géographie, Zagreb, Maruličev Trg 19
 Prof. Dr. *G. Chabot*, Université de Paris, Institut de Géographie, 191, rue Saint Jacques, Paris
 Prof. Dr. *H. Lehmann*, Geographisches Institut der Universität, Frankfurt a. Main, Schumannstraße 58
 Prof. Dr. *Milojevič*, Institut für Karstforschung „J. Cvijič“, Studenski Vrh, Beograd
 Prof. Dr. *P. Bivot*, Professeur à la Sorbonne, 10, av. Schneider, Clamart (Seine)
 Prof. Dr. *G. Lasserre*, Faculté des Lettres de Bordeaux, Institut de Géographie, 20, Cours Pasteur, Bordeaux
 Prof. *Barrère*, Faculté des Lettres de Bordeaux, Institut de Géographie, 20, Cours Pasteur, Bordeaux
 Prof. Dr. *J. Corbel*, 30 Chemin de Boutary, Caluire (Rhône)
 Prof. *A. Blanc*, 76 Rue Jean Jaurès, Stains (Seine)
 Prof. Dr. *H. Harrassowitz*, Gießen, Wilhelmstraße 13
 Prof. Dr. *H. von Wißmann*, Geographisches Institut der Universität, Tübingen, Schloß
 Prof. Dr. *W. Panzer*, Geographisches Institut der Universität, Mainz, Saarstraße 19
 Doz. Dr. *C. Rathjens*, Geographisches Institut der Technischen Hochschule, München 2, Walter-von-Dyck-Platz 1

2. DER KARST DER HUMIDEN HEISSEN UND SOMMERHEISSEN GEBIETE OSTASIENS

H. v. Wißmann

Mit 8 Abbildungen

Summary. Karst regions of the humid tropics and summerhot perhumid subtropics mostly (not in marly limestone f. i.) show features different from karst topography in any other climate: They show a dissolution into hillocks or cones or turrets, towers and castles, which are more or less regularly arranged and often of similar or same height and even size in one area. This is the Kegelkarst or karst à pitons. The boundary of its occurrence in China (Taihu — south of Nanking — including Kweichow, E. Yunnan, excluding Central Yunnan) runs along the margins of the climates mentioned above, thus showing its dependence on climate, its being a feature of climatological geomorphology. Of the various formations of kegelkarst, two widely differ in appearance from one another: 1. A low karst with rounded hillocks of even height (300 ft f. i.). The hillocks are separated from each other by shallow enclosed depressions (dolines). This is the “cock pit”-karst (karst en écumoire) of Jamaica, Portorico, Java and New Guinea. A similar karst, with conical hills (“like hundreds of pegtops turned upside down”), and deeper dolines between, is common in Kweichow and E. Yunnan. In the mountains of Laos and N. Vietnam, of regions of recent strong uplift, there is a wild, almost unpassable karst of peaks deeply furrowed by lapiez and of precipitous abysses. 2. A river plain, dotted with groups or swarms of limestone towers or castles (200 to 700 ft. high), isolated from each other by the plain (fig. 4, 5), to which they fall down in vertical walls. This is the towerkarst, Turmkarst or karst à tourelles. Its principal domain are the basins of Kwangsi. But it also

occurs in Vietnam, Siam, Tenasserim, Malaya, Central Sumatra and in Cuba. The bedding planes of the towers may vary from horizontal to vertical. The contrast of the ricefield plain and the picturesque towers has often incited Chinese painting. In the level of the plain, the towers are undermined by grottoes and horizontal caves. So the plain grows by undercutting (lateral erosions) due to dissolution of limestone. In the Bay of Halong (NE Tongking) all transitions from wild mountain-karst to tower-karst can be studied. Dolines reaching the level of active caves are enlarged into uvalas (poljes) in this level, until the walls dividing the uvalas from one another or from the marginal plain break down and vanish (fig. 2, 3). The plain is partly replaced by a very shallow sea, with flats, dry during low tide. The surf is undermining quicker than running and stagnant water of the plains. 3. While being laterally enlarged by undercutting, the limestone plane is buried by residues and deposits. The final stage of this cycle is a buried limestone plane (Überschüttungsebene, plaine de recouvrement). Where the limestone surface has been excavated in the tin mines of Malaya, one sees a field of “pinacles”, sometimes 50 ft high, with deep pockets between. Where such a pinnacle-area is exhumated by erosion, it becomes a wild area of lapiez, like the “stone forest” round Lunan in E. Yunnan. 4. When a limestone river-plane gets out of action, because the river has cut down into the underlying limestone, or because the flowing water sinks down into cavities, the karst towers lose their vertical walls, and their bases become surrounded by debris slopes (fig. 7).