

Kweitschou und dem östlichen Yünnan verbreitet<sup>36)</sup>, mit Übergängen zum Karst mit Steilkegeln und Schlunddolinien des Gebirgslandes von Tongking, der auch im Nanling-Gebirge an der Grenze von Hunan und Kwangtung sich findet.

Merkwürdigerweise ist eine Gleichheit der Gipfelhöhe, aus der man auf vorherige vollkommene Ein ebnung des Karstlandes durch stehendes oder fließendes Wasser schließen kann, häufig im Kegel- und Dolinen-Karst (Abb. 8), selten im Turmkarst festzustellen, in dem auch der Abstand und die Anordnung der Türme viel unregelmäßiger sind als Abstand und Anordnung der Kegel im Kegel- und Dolinen-Karst<sup>37)</sup>.

<sup>36)</sup> H. von Handel-Mazzetti a. a. O., O. Lehmann 1925 a. a. O., Graf zu Catell a. a. O., 129, 162, J. Deprat a. a. O.  
<sup>37)</sup> Vgl. H. Lehmann a. a. O. 1936.

Jedenfalls haben wir den Kegelkarst zu den rhythmischen geomorphologischen Phänomenen im Sinne von H. Kaufmann zu rechnen<sup>38)</sup>.

Karstformen, die wir nicht zum Kegelkarst rechnen können, finden sich auch in Südwestchina in die Kegelkarstgebiete eingestreut, vor allem in Ost-Yünnan und in Kweitschou. Es sind dort Gebiete flachwelliger Hügel mit seichten Dolinen. Sie erscheinen in triassischen Kalken, die von Mergel- und Sandsteinlagen durchsetzt sind, und in mergeligen Kalken z. B. des Mitteldevons. (Vgl. Abb. 8).

<sup>38)</sup> H. Kaufmann, Rhythmische Phänomene der Erdoberfläche. Braunschweig 1929.

### 3. DER TROPISCHE KEGELKARST AUF DEN GROSSEN ANTILLEN

H. Lehmann

Mit 11 Abbildungen und 6 Bildern

#### 1. Verbreitung und Alter

Der Typus des tropischen Kegelkarstes ist in den Großen Antillen auf Cuba, Jamaica, der Dominikanischen Republik<sup>1)</sup> und Puerto Rico verbreitet in Kalken verschiedenen Alters, unterschiedlicher petrographischer Beschaffenheit und Tektonik. Keineswegs aber ist das Kegelkarstgebiet identisch mit der Verbreitung der Kalke überhaupt. Es gibt sowohl auf Cuba wie auf Jamaica mehr oder minder ausgedehnte Kalkgebiete, die nicht den Formenschatz des tropischen Kegelkarstes aufweisen, sondern nur die gewöhnlichen Karsterscheinungen wie Karren, flache Dolinen, Flußschwinden usw. Sie liegen bezeichnenderweise meist in geringer Höhenlage über dem Meer. Wo dies nicht der Fall ist, kann das Fehlen der sonst typischen Kegelkarstformen in ursächlichen Zusammenhang mit der unreinen, kreidigen oder mergeligen Beschaffenheit der Kalke gebracht werden.

Der Kegelkarst selbst zeigt in Westindien die gleichen Variationen vom niedrigen Kuppenkarst bis zum steilen Turmkarst, wie sie aus Südostasien bekannt sind, wenn auch so bizarre Bilder fehlen, wie sie der voll entwickelte südchinesische Turmkarst bietet. Dies liegt wohl in erster Linie an dem relativ geringen Alter der westindischen Karstentwicklung. Selbst da, wo mesozoische Kalke von ihr betroffen werden (Cuba), geht die Entwicklung des heutigen Formenschatzes von einer die Kalke und die angrenzenden undurchlässigen Gesteine kappenden Rumpffläche frühestens miozänen Alters aus. Der Beginn ihrer Verkarstung (oder Wiederverkarstung) fällt auf Cuba und Puerto Rico mit

einer pliozänen oder gar pleistozänen Hebungphase zusammen (vgl. *Massip, Marrero, Meyerhoff*), nur für Jamaica wird er von den dortigen Geologen (*V. A. Zans*) — vielleicht zu Unrecht — bis in das Miozän zurückdatiert.

Die allgemeinen Züge des tropischen Kegelkarstes auf den Großen Antillen sind von mir bereits an anderer Stelle dargelegt worden (Umschau 1953, Heft 18; Deutscher Geographentag in Essen 1953). Hier sei daher ergänzend auf einige besondere Fragestellungen eingegangen, die für die Diskussion des Karstphänomens in den Tropen von Bedeutung sind.

#### 2. Entstehung und Weiterentwicklung von Karstrandebenen und intramontanen Karstverebnungen (Poljen, interior valleys) in den Tropen.

Wo das Kegelkarstgebiet nicht durch junge Brüche bzw. Flexuren begrenzt ist oder in einer geschlossenen Schichtstufe abbricht, wie dies im S. des puertoricanischen Kegelkarstes der Fall ist, finden sich häufig Karstrandebenen (im Sinne von *K. Kayser*) ausgebildet, die von den undurchlässigen Gesteinen auf den anstehenden Kalk übergreifen und, mit einer mehr oder minder mächtigen Schicht von verschwemmten Lösungsrückständen bedeckt, die morphologische Basis der unvermittelt über sie aufragenden Kegel oder Türme bilden. Eine solche Karstrandebene, die sich mit weiter im Innern des Karstgebietes ausgebildeten Verebnungen verzahnt, ist in sehr klarer Weise an der Südseite der Sierra de los Organos auf Cuba bei Viñales (Provinz Pinar del Rio) ausgebildet (Bild 1). Dieses aus mesozoischen Kalken bestehende Gebirge hat seinen Namen von der orgelpfeifenartigen Auflösung der Gebirgsmasse in Pfeiler und Türme, die hier „*Mogotes*“ genannt werden. Der geologische Bau ist kompliziert; er wird in den Publikationen über Cuba (*Massip,*

<sup>1)</sup> Auf das bisher unbekanntes Vorkommen des Kegelkarstes in der Dominikanischen Republik hat mich Frau Dr. G. von Kobylinski geb. von Siemens auf Grund der Auswertung von Luftbildern hingewiesen.

Marrero, Meyerhoff) verschieden und z. T. zu stark vereinfacht wiedergegeben (vgl. Abb. 1). Die Hauptmasse des Gebirges besteht aus sehr reinen, grobgebankten kristallinen Kalksteinen jurassischen und unterkretazischen Alters (La-Jagua- und Viñales-Formation). Sie sind stark gefaltet und z. T. auf die mittelkretazische Pizarras-Formation (Schiefer und

von steilen Wänden rings umschlossenes geräumiges Polje (interior valley) (Abb. 3). Die Straße nach Bago San Vicente, die durch das Polje hindurchführt, benützt einen schmalen Einschnitt, der offenbar durch Niederbrechen eines untertunnelten Teiles der Bergumrahmung entstanden ist, dessen Paßhöhe aber 10 bis 15 m über dem Poljenboden im anstehenden Gestein

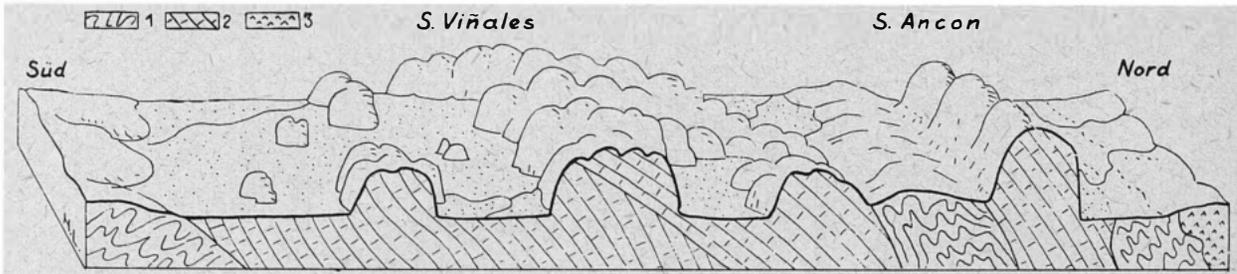


Abb. 1: Schnitt durch die Sierra de los Organos auf Cuba

- 1 Pizarras-Formation
  - 2 Unter- und jurassische Kalke
  - 3 Serpentin (Tektonik vereinfacht)
- Links die Karstrandebene von Viñales.

Sandsteine) in südlicher Richtung überschoben worden. Die von Marrero vertretene Auffassung der vor der Front der Viñales-Kette aufragenden Mogotes als „Klippen“ vermag ich indessen nicht zu teilen, da die Ebene zwischen ihnen und der Viñales-Kette — wie vereinzelt aufragende Karrensteine und Trümmer von nahezu aufgekehrten Mogotes erweisen — unter einer dünnen Decke von angeschwemmtem Material aus Kalk besteht. Erst am Fuß der Sierra de Ancon treten etwas nördlich von Bago San Vicente wieder stark gefaltete und gestörte Schiefer auf, die der Pizarras-Formation angehören. Jedenfalls ist die Ebene von Viñales, über der die Mogotes und isolierten Kegelkarstgruppen aufragen, eine echte Karstrandebene, die heute noch auf Kosten des höheren Reliefs in aktiver Weiterbildung begriffen ist. Die steilen, vielfach senkrechten Hänge der Mogotes, der isolierten, in Auflösung begriffenen Kegelkarstketten vor der Sierra Viñales und deren Fuß selbst werden unter-schnitten von „Fußhöhlen“. Steilwände von 30, 40 und mehr Meter Höhe weisen auf junge Einstürze. Das abgestürzte Material ist jedoch verschwunden, offenbar weil es im Niveau der Karstrandebene verhältnismäßig rasch durch Lösung aufgezehrt wird (Abb. 2). Oberflächliche Erosion fehlt durchaus nicht ganz, wie die Schwemmkegel am Fuß steiler Einschnitte zeigen. Auf intensive oberflächliche Korrosion deuten die tiefen Karrenrillen an den jungen Steilwänden und überall zu beobachtende „Stalaktitenvorhänge“ vor Halbhöhlen, aber natürlich auch die für den Kegelkarst typische Zurundung der durch talartige Einschnitte, tiefe Karrengassen und yamaartige Dolinen voneinander getrennten Kuppen in den Ketten, deren „Skyline“ noch die das Schichtfallen schneidende Ausgangsfläche des Verkarstungsprozesses anzeigt.

Etwa in gleicher Meereshöhe wie die geschilderte Karstrandebene liegt in der Sierra de Viñales selbst, etwa halbwegs zwischen Viñales und San Vicente ein

liegt. Die Hänge fallen, von einigen eingeschalteten Schwemmkegeln abgesehen, meist senkrecht zum Poljenboden ab und weisen in dessen Niveau (z. T. auch etwas darüber) zahlreiche Fußhöhlen auf, durch die das Polje nach den tropischen Regengüssen entwässert, und zwar nach allen Seiten. Der Boden ist nicht ganz eben, und die Schichtfluten verteilen sich, wie auch aus der Verheerung der Felder in den etwas tiefer gelegenen Randpartien hervorgeht, ungleichmäßig über den ganzen Poljenrand. Hier liegt die aktive Zone, während der Boden des Polje selbst durch eine mindestens mehrere Meter mächtige Schicht von gelbbraun bis rötlichem terra-rossa-ähnlichem Verwitterungslehm dicht verschmiert ist. Nur in der Mitte ragt noch eine kleine Kalkkuppe heraus.

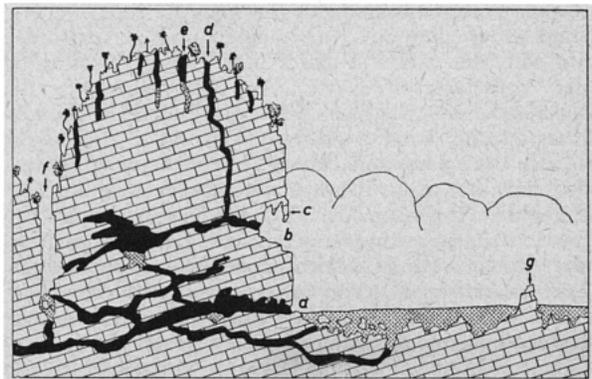


Abb. 2: Schnitt durch einen Karstkegel in der Sierra de los Organos

- a = „Fußhöhle“
- b = Halbhöhle
- c = Stalaktitenvorhang
- d = Jama
- e = rudimentäre Jama
- f = Karstgasse
- g = isolierte Karrensteine

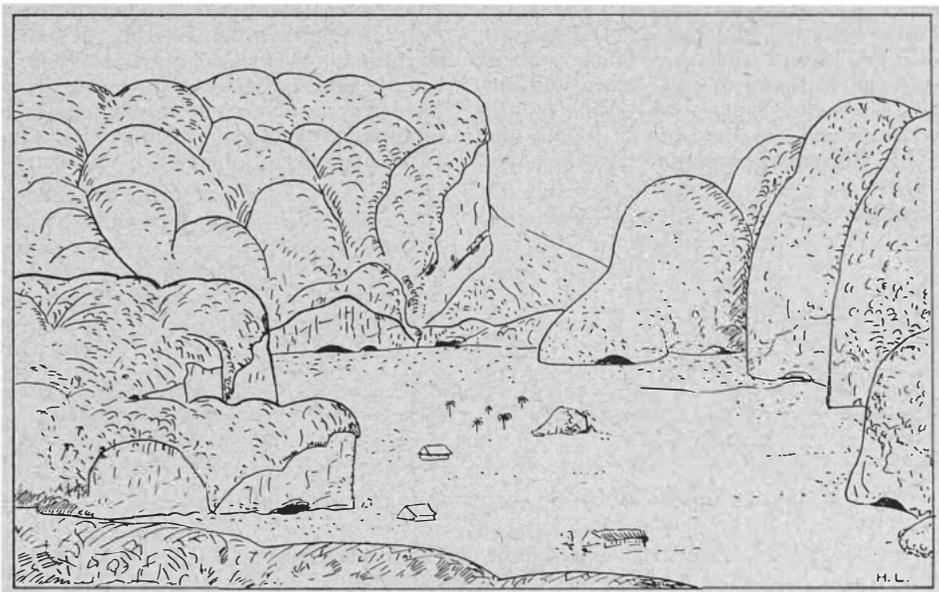


Abb. 3: Das Polje (interior valley) von Bagno San Vicente (nach Photographie und Geländeskizze)

Rings um das Polje sind die als Ponore dienenden Fußhöhlen erkennbar.

Wodurch wird das Niveau des Poljebodens, das auch von anderen „Interior Valleys“ der Sierra de los Organos ungefähr eingehalten wird, bedingt? Die Kalke der Sierra Viñales setzen sich in die Tiefe fort; eine wasserstauende undurchlässige Unterlage dürfte also wenigstens für dieses Polje nicht anzunehmen sein. Dagegen liegt der Vorfluter in der benachbarten Karstrandebene in etwa der gleichen Höhe wie der Poljenboden. Diese Karstrandebene zeigt oberflächliche Wasserläufe. Sie kommen — wie der Rio de Ancon — aus dem südlich anschließenden, von der undurchlässigen Pizarras-Formation gebildeten Hügelland, das die Hauptwasserscheide der Provinz Pinar del Rio trägt, oder aber aus Karstquellen und verschwinden am Fuß der Sierra Viñales bzw. weiter westlich in der vorgelagerten Kette. Auf der Nordseite der Viñales-Kette tritt das Wasser in einer Reihe von Karstquellen wieder zutage, wobei aber gerade die Quelle des nördlichen Rio de Ancon keinen Höhlenflußcharakter zeigt. Es ist anzunehmen, daß diese Vorfluter die Höhenlage des Poljenbodens im Innern der Sierra Viñales bestimmen. Auch im „Cockpit Country“ auf Jamaica sind Karstrandebenen zu beobachten. Eine solche ist sehr schön entwickelt westlich von Balacava am Oberlauf des Black-River und des One-Eye-River, die beide aus dem Kegelkarstgebiet des Cockpit Country kommen (Abb. 4). Hier vollzieht sich der Übergang von der unterirdischen Hydrographie zur oberflächlichen Entwässerung unter Ausbildung einer Ebenheit, die sich mit den Kuppen des Kegelkarstes verzahnt. Bedingt ist sie durch das Auftreten undurchlässiger Gesteine der eoziänen „Cambridge Beds“, die das Liegende der mitteloligozänen Kalke bilden und in der zentralen Aufbiegungsachse zutage kommen, ebenso wie weiter östlich in dem „Aufbruch“ der Black Grounds. Sie zieht aber von diesen Gesteinen über

anstehenden Kalk hinweg. Die Verhältnisse liegen also — von der einfacheren Tektonik abgesehen — ähnlich wie bei Viñales in der Sierra de los Organos. Nur sind die von ihr isolierten Kegel des Cockpit Country keine Türme sondern Kuppen. Der Unterschied liegt in der geringeren Höhenspanne zwischen der Karstrandebene und der „Gipfelur“ des Cockpit Country begründet. Die sog. Poljen oder Interior Valleys am Nordrand des Cockpit Countrys werden uns weiter unten beschäftigen.

Einen anderen Typus von Karstrandebenen stellen die mehr oder minder breit entwickelten, von Schwärmen von „Haystacks“ (Karstkuppen) durchzogenen Küstenebenen in Nordwest-Puerto Rico dar. Ihre Ausbildung ist nicht an das Auftreten eines undurchlässigen Gesteins gebunden, sondern an die Nachbarschaft des Meeres. Dies muß so vorsichtig ausgedrückt werden, da wir seit dem Pliozän mit eustatischen Schwankungen des Meeresspiegels und gleichzeitig mit einer Eigenbewegung des Landes (in West-Puerto Rico zweifellos mit einer Hebung) zu tun haben, so daß die heutige Lage des Meeresspiegels nicht für die ganze Dauer des Verkarstungsprozesses maßgebend gewesen sein kann. Das Kegelkarstgebiet von NW-Puerto-Rico wird gebildet durch ein nach N. gekipptes aber ungefaltetes Schichtpaket von Kalken oligo- bis miozänen Alters, in dem mehrere nach ihrer petrographischen Beschaffenheit und dementsprechend karstmorphologisch verschiedenwertige Formationen unterschieden werden (vgl. Abb. 5). Das Schichtpaket wird von einer postmiozänen Rumpffläche (Cagua-Peneplain) gekappt, die ihrerseits gehoben, um etwa 1° nach N. gekippt und verkarstet ist. Die in dem küstennahen Gebiet entwickelten Karstrandebenen sind offensichtlich auf das im Mittel 10–25 m hohe Niveau einer die

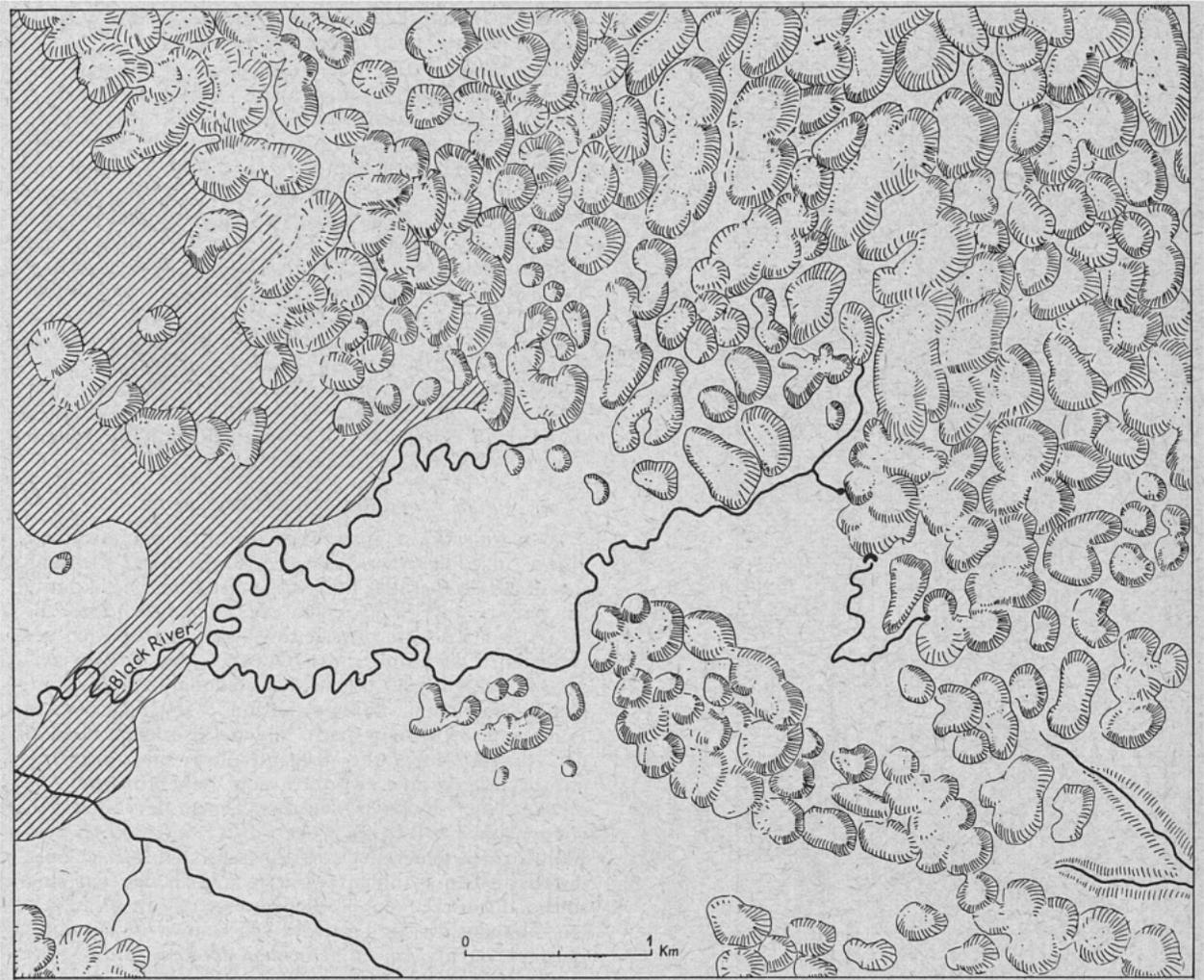


Abb. 4: Karstrandebene bei Balaklava im Cockpitcountry auf Jamaica  
(Im schraffiert gezeichneten Gebiet ist der undurchlässige Untergrund aufgeschlossen)

Küste säumenden, von versumpften Schlenken und Lagunen durchzogenen Küstenplattform eingestellt, die selbst keine Karstkegel aufweist und auch nicht die Züge einer Karstrandebene trägt. Die Küstenplattform senkt sich von W nach E infolge einer tektonischen Schrägstellung. Östlich San Juan und in den Virgin Islands ist sie unter das Meer getaucht. Die Talsohlen der Flüsse, die im offenen epigenetischen Lauf das Kalkgebiet queren — von ihnen fließt nur der Rio Camuy eine kurze Strecke unterirdisch — sind im Mündungsgebiet deutlich in die Küstenplattform und damit auch in die angrenzenden Karstrandebenen eingesenkt. Diese Karstrandverebnungen, wie sie besser genannt werden dürften, bilden keineswegs eine völlig zusammenhängende Ebene. Sie setzen sich vielmehr zusammen aus einer Anzahl mehr oder minder geneigter, bis zu 100 m Meereshöhe ansteigender, zuweilen auch sanft welliger Verflachungen zwischen den meist reihenweise im Ausstreichen der Schichtköpfe angeordneten Karstkuppen (Abb. 6). Sie schneiden also

die nach N. einfallenden Schichten und sind eingesenkt in die durch das Kuppenniveau angedeutete, durch Verkarstung völlig aufgelöste „Cagua-Peneplaine“ Meyerhoffs, die landeinwärts bis auf über 500 m ansteigt. Es sind echte Verebnungen, bei deren Bildung offenbar seitliche karstkorrosive Unterscheidung der Kuppen, oberflächliche Erosion und flächenhafte Zusammenschwemmung der Verwitterungsrückstände zusammenarbeiten. Deutlich ist zu erkennen, wie die oft sehr steilwandigen, wenn auch relativ niedrigen Kuppen allmählich aufgezehrt werden und die Verebnungen seitlich zusammenwachsen. Die primäre Ursache für das Aufhören des Tiefenwachstums einige Dekameter über dem (heutigen) Meeresspiegel muß meines Erachtens in der Stauwirkung des Meeres selbst gesucht werden. Sekundär spielen Verschmierung und Verschlemmung der abwärtsführenden Wasserbahnen angesichts der Mächtigkeit der rotbraunen bis gelbbraunen Verwitterungsrückstände gewiß eine Rolle. Trotzdem bleibt die unterirdische Entwässerung wenigstens

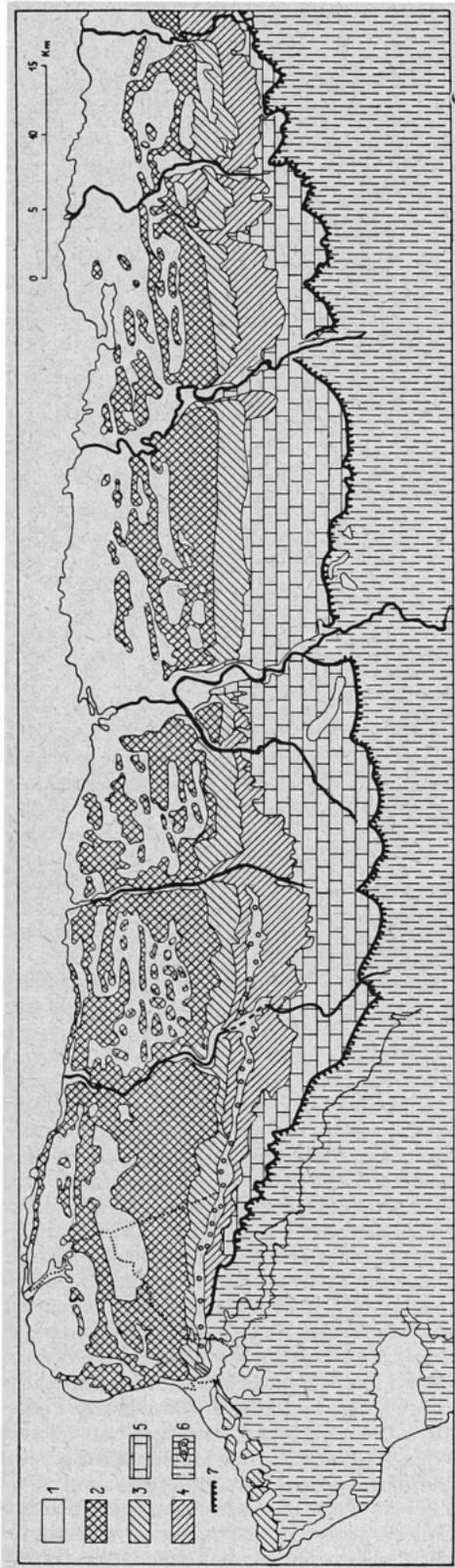


Abb. 5: Das Karstgebiet von NW-Puerto Rico  
 1 Ebenen (runde Kringel) 2 Aymamon-Kalkstein 3 Aguada-Kalkstein 4 Cibao-Mergel mit eingelagerten Konglomeraten  
 5 Lares-Kalkstein 6 Kretazischer Sockel mit San-Sebastian-Formation 7 Schichtstufe

zu einem guten Teil erhalten, nur liegen die Wasserbahnen relativ dicht unter der Oberfläche.

Das Beispiel von Puerto Rico lehrt also, daß die Kegelkarstbildung in der Nähe des Meeres aufhört (schon in Höhenlagen + 100 m) und die Hohlformen zu Ebenheiten auf Kosten der immer mehr zusammenschrumpfenden Kegel in horizontaler Richtung wachsen. Auf diese Weise mag ein Teil der ausgedehnten Karstverebnungen ohne Kuppenrelief gebildet worden sein, die sich namentlich auf Cuba, aber auch in der Küstenzone von Jamaica finden. Die Wiederverkarstung bzw. Umwandlung zu einem kuppigen Relief dürfte bei erneuter Hebung im Initialstadium erst allmählich einsetzen. Namentlich bei größerer Mächtigkeit der die Karstebenheit bedeckenden Verwitterungsrückstände dürften dabei oberflächliche Gerinne bzw. ein System von Tälchen bilden, die dann verkarsten und sich in Form von Dolinenreihen und Blindtälern vererben.

### 3. Frage des gerichteten Karstes

Auf diese Weise entsteht gleichfalls ein „gerichteter Karst“, d. h. die Ausrichtung der Kegel in der Richtung des örtlichen Gefälles der Ausgangsfläche. Dies konnte ich bereits auf Java zeigen (*H. Lehmann 1935*). Es läßt sich aber auch ausgezeichnet auf Puerto Rico beobachten. Die Hohlformen zwischen den Kegeln zeigen — namentlich auch in der besonders zur Verkarstung geeigneten Laresformation — langgestreckte Formen in Richtung nach Süden, also dem Gefälle der Cagua-Peneplaine folgend und sind auffällig parallel angeordnet, wodurch eine reihenförmige Anordnung der Kuppen zwischen ihnen hervorgerufen wird (Abb. 7 u. Bild 2). *Meyerhoff (1933)* möchte diese Hohlformen generell durch Einsturz der Decken über unterirdischen Kanälen erklären, und in der Tat sind solche Einstürze von Höhlensystemen nicht allzu selten. Namentlich der Lauf des Rio Camuy ist ein gutes Beispiel dafür. Im allgemeinen spielen solche Einstürze aber wohl nur eine zusätzliche Rolle; vielfach genügt ein rasches Tiefenwachstum reihenförmig angeordneter Dolinen, um die fraglichen langgestreckten Hohlformen zu schaffen, ähnlich wie es auf Java der Fall ist. Die Anordnung der Dolinen, Schlucklöcher etc. in parallelen Reihen ist von der oberflächlichen Ausgangszertalung im Initialstadium der Verkarstung vorgezeichnet; sie vererbt sich auf die unterirdischen Wasserbahnen, anders wäre eine so strenge Abhängigkeit von dem Gefälle der — rekonstruierbaren — Ausgangsfläche nicht möglich.

Dies gilt wenigstens für Java und Puerto Rico, wo diese Verhältnisse auch an Hand der guten topographischen Karten nachgeprüft werden können, sowie für Guadeloupe. Aber bereits *Pannekoek (1948)* hat an Hand der Luftbildauswertung von Karstgebieten auf Neuguinea darauf hingewiesen, daß auch Klufsysteme eine entscheidende Rolle für die Ausrichtung des Kegelkarstes spielen können. Dies läßt sich besonders gut im Cockpit Country auf Jamaica zeigen, wo *V. A. Zans (1951)* die Verhältnisse untersucht und in einem Kärtchen niedergelegt hat. Die Anordnung der Hohlformen in diesem wohl unzugänglichsten Karstgebiet Westindiens folgt nachweislich den Bruchlinien, die hier in Richtung der generellen

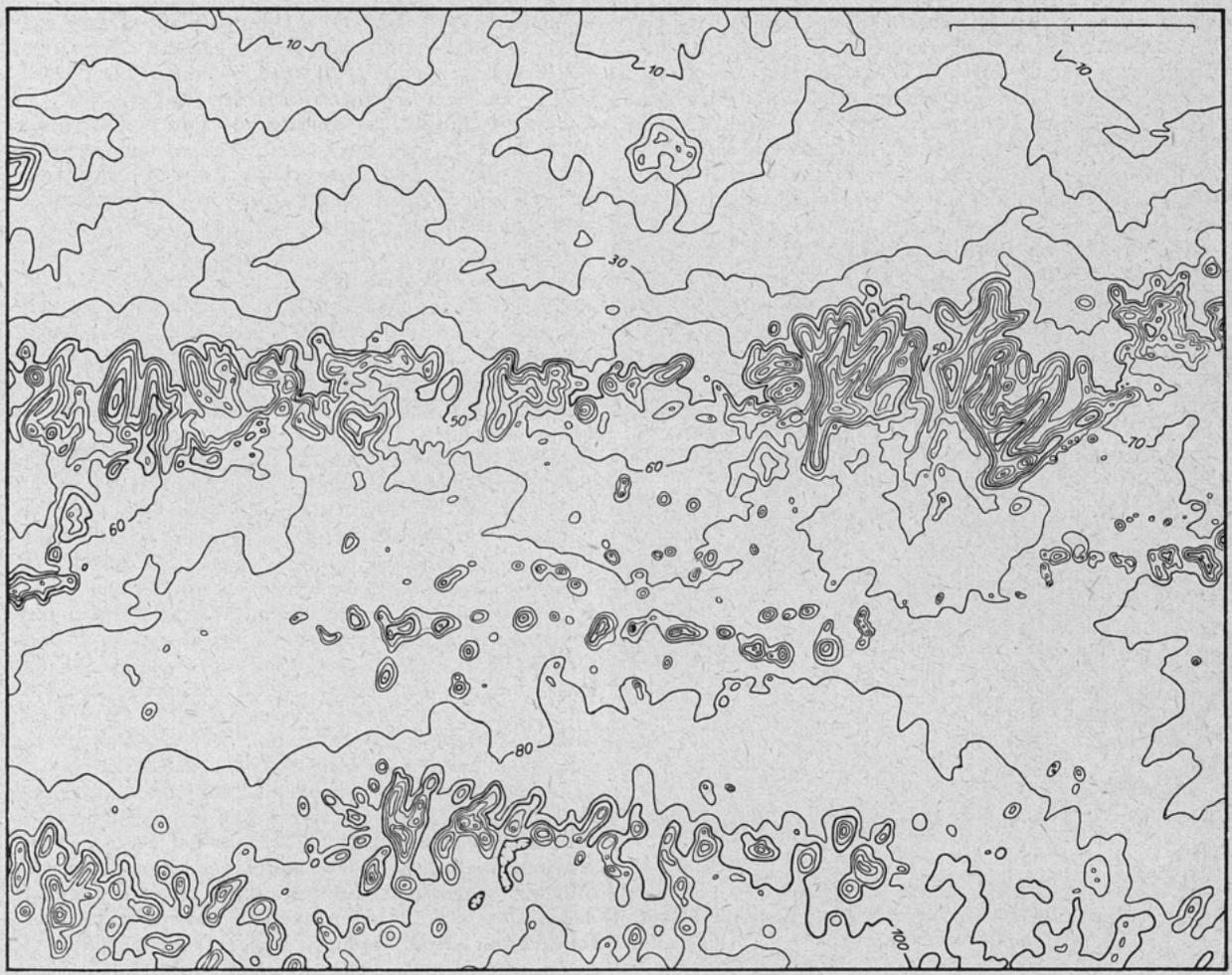


Abb. 6: Karstrandverebnungen am Küstensaum von NW-Puerto Rico zwischen Manati und Baja Vega.  
(Maßstab = 1 km).

Landabdachung und senkrecht dazu verlaufen. Eine von mir vorgenommene Auswertung der Luftbilder zeigte in dem Gewirr von tausend und aber tausend Kuppen markante durchlaufende Linien, die keine Täler im eigentlichen Sinne darstellen (wie die Flußdurchbrüche in Puerto Rico) sondern eine Folge von Hohlformen, die sich an eine durchziehende Kluft anlehnen. (Vgl. Bild 3 und Abb. 8.)

Selbstverständlich spielt das herrschende Kluftsystem stets eine Rolle, da es das Eindringen des Karstprozesses erleichtert. Auch die Auflösung der steilen Wände an den Mogotes Cubas folgt vielfach — aber nicht ausschließlich — den durch das Kluftsystem vorgezeichneten Linien. Allein ist es jedoch nicht maßgebend, sonst könnten die Höhlensysteme im großen nicht jene immerhin auffällige Unabhängigkeit von Klüftung und Schichtung zeigen, die man tatsächlich beobachten kann. Auch wäre die gewässernetzartige Verästelung der Hohlformen, wie sie auf Java und Puerto Rico vorliegt, nicht durch ein Kluftsystem allein zu erklären.

Es gibt also verschiedene Ursachen für den gerichteten Karst, die alle drei auf den Großen Antillen beobachtet werden können und natürlich innerhalb eines Karstgebietes zusammenwirken: Vererbung oberflächlicher Abdachungstälchen — Einfluß von Kluftsystemen (besonders in tektonisch stark beanspruchten Gebieten) — endlich Ausstreichen von widerstandsfähigen und weniger widerstandsfähigen Schichtpaketen an der Oberfläche (selektive Karstdenudation). Die letzte kann bei steilem Einfallen der Schichten zu einem „Sägegrat“ oder „Orgelpfeifenkarst“ führen, wie er in der Ancon-Kette der Sierra de los Organos, aber auch in vielen südchinesischen Karstgebieten vorliegt.

#### 4. Einfluß der Gesteinsbeschaffenheit

Wie im Dinarischen Karst so beeinflusst auch in den tropischen Karstgebieten die physikalische und chemische Beschaffenheit des Kalkes die Art der Verkarstung. Die Bildung des typischen Kegelkarstreliefs setzt offenbar ziemlich reine Kalke voraus. Das geologische Alter und die Art der Lagerung spielen

dabei keine Rolle. Riffkalke bilden ebenso typische Kuppen und Türme aus, wie gebankte Kalke. Dagegen ändert sich der Typus der Reliefs sofort, wenn kreidige, unreine oder gar mergelige Kalke vorliegen. Diese verkarsten zwar auch, aber es kommt nur zur Bildung wenig tiefer Dolinen, Uvalas und größerer, an Poljen erinnernder Wannen. Flache Formen herrschen vor. Oberflächengerinne und kleine Seen stellen sich ein.

Ein solcher Formenschatz, der weit mehr dem des Dinarischen Karstes als dem des typischen tropischen Kegelkarstes gleicht, ist beispielsweise auf Puerto Rico

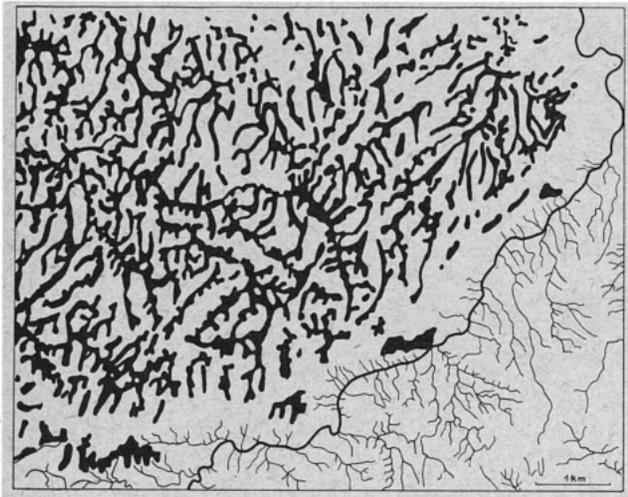


Abb. 7: „Gerichtete“ Karst-Hohlformen in den Lareskalken bei Ciales (Puerto Rico)

In der rechten unteren Ecke oberflächliche Entwässerung in der San-Sebastian-Formation.  
(gezeichnet nach Soil map of Puerto Rico 1936)

im Bereich der Cibao-Formation, die aus relativ weichem, weißem, kreidigem Material besteht, dessen relative Löslichkeit nach Meyerhoff gering ist. Der Unterschied zu dem Formenschatz der südlich von der Cibao-Formation austreichenden reinen Lareskalke ist so auffällig, daß die Gesteinsgrenzen ohne weiteres einfach nach dem Formenschatz auf der topographischen Karte oder auf den Luftbildern angegeben werden können.

Aber auch die in ihrer Hauptmasse als Riffkalke ausgebildeten Laresschichten, in deren Bereich die wildesten Kegelkarstformen zu beobachten sind, werden nach Westen zu immer unreiner, und hier ist der Kegelkarsttypus denn auch weniger gut entwickelt. Auch am Nordrand des Cockpit Country auf Jamaica tritt ein Karstrelief auf, das nicht dem Kegelkarsttypus angehört. In dem Küstenstreifen der Parish Trelawny können nur mehr oder minder flachwellige Formen beobachtet werden, obgleich sich das Gelände bis über 200 m über den Meeresspiegel hebt. Breite, zuweilen mit Wasser gefüllte Dolinen und große poljenartige Becken sind für dieses Gebiet charakteristisch. Ausgesprochene Kuppen fehlen so gut wie ganz. Der Karst ist mit einer mehr oder minder zusammenhängenden Bodendecke bedeckt. Oberflächlich fließende Gewässer stellen sich ein. Besonders stark fällt der Unterschied zu dem angrenzenden wild bewegten Cockpit Country bei Clarks Town auf, von wo aus die Straße in das Cockpit Country eintritt. Dieses hebt sich längs einer Verwerfung als geschlossene Mauer heraus. Bis Clark Town ist die Landschaft offen und dicht besiedelt. Von hier ab beginnt der nackte urwaldbedeckte Kegelkarst, der außerhalb der Straße so gut wie unpassierbar ist. Dieser auffällige Unterschied geht offenbar in erster Linie auf die Verschiedenartigkeit des Gesteinsmaterials zurück. Längs der Randverwerfung des Cockpit Country ist die White-Limestone-Formation abgesunken und ihre oberen kreidigen, po-

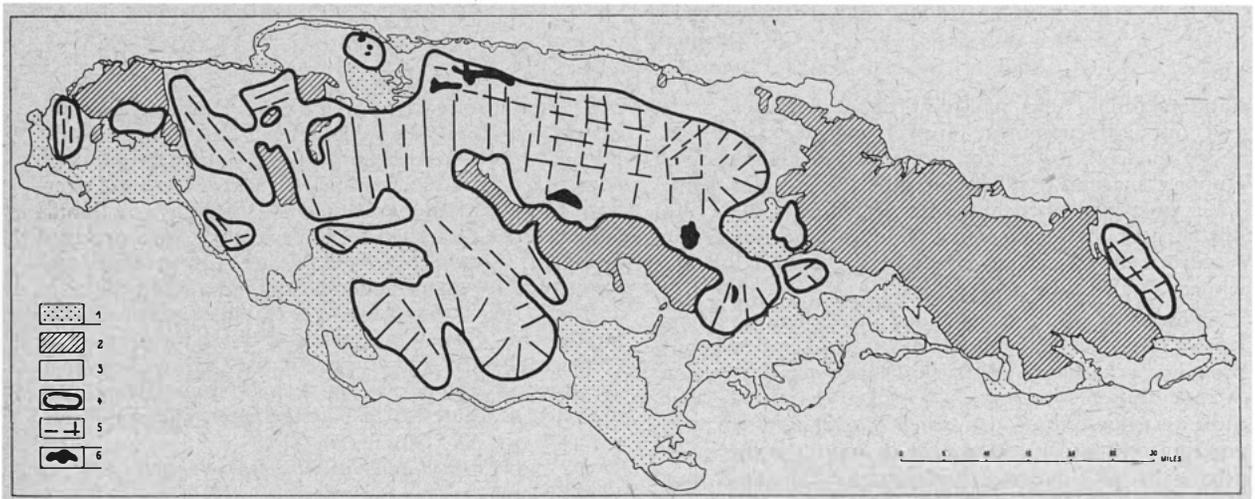


Abb. 8: Morphologisches Kärtchen von Jamaica (Entw. H. Lehmann)

- 1 Küstenebenen
- 2 Berg- und Hügelland in undurchlässigen Gesteinen
- 3 Kalkstein ohne typische Kegelkarstformen
- 4 Kegelkarstgebiet

- 5 die schwarzen Striche geben die Richtung der Kegelreihen bzw. der Hohlformen wieder
- 6 große Hohlformen im Kegelkarstgebiet.

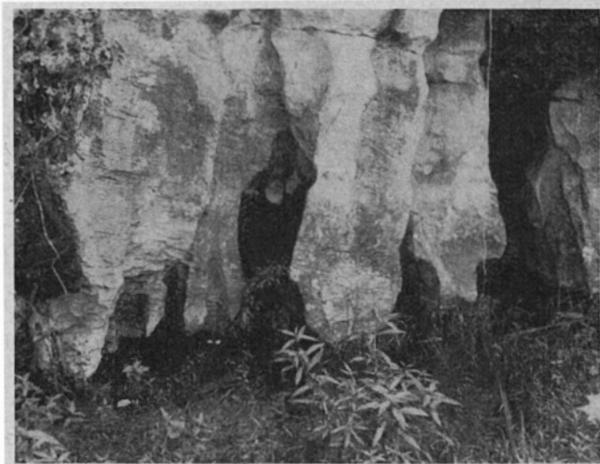
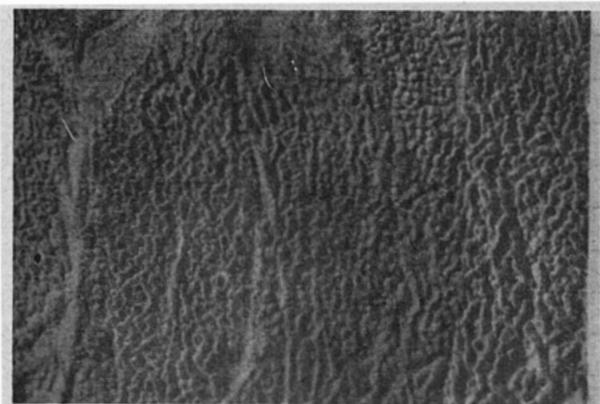


Bild 1: Karstrandebene bei Viñales am Südsaum der Sierra de los Organos auf Cuba mit einzelnen isolierten „Mogotes“

Bild 2: Kegelkarst in der Laresformation (NW-Puerto Rico)

Bild 3: „Gerichteter“ Kegelkarst im Cockpitcountry auf Jamaica

Bild 4: Karrengrate auf der Oberfläche des Kegelkarstes bei Bagno San Vicente (Cuba)

Bild 5: Fußhöhle mit „Deckenkarren“ bei Viñales (Cuba)

Bild 6: Sehr gut ausgebildete Deckenkarren (Keine Stalaktiten!) bei San Vicente (Cuba)

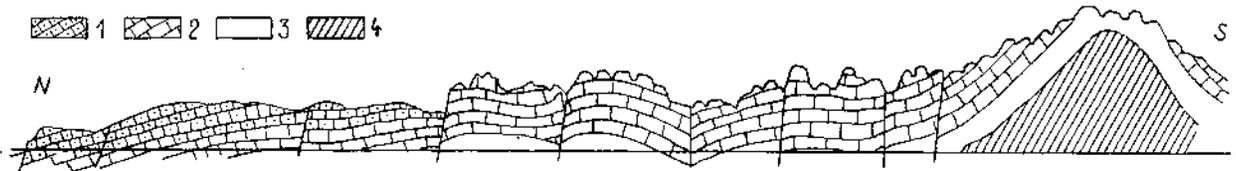


Abb. 9: Schnitt durch das Cockpitcountry auf Jamaica nach van Zans (1951), etwas vereinfacht.

- |                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| 1 kreidige Kalke (Montpellier-beds) | 3 Yellow-Limestone Formation |
| 2 White-Limestone Formation         | 4 Schiefer                   |

rösen, mit Flint durchsetzten Horizonte — die Montpellier-beds Hills (1899) — bilden zusammenhängend die Oberfläche (Abb. 9). In diesem Horizont sind ähnliche Formen entwickelt wie in der Cibao-Formation auf Puerto Rico. Die ziemlich ausgedehnten „Interior Valleys“, die Zans für typische Poljen anspricht, sind nicht völlig eben. Sie werden teilweise oberflächlich durchflossen. Ihr Boden wird von lehmigem Verwitterungsmaterial bedeckt, das teilweise in bauxitische Terra Rossa übergeht und eine Mächtigkeit von 30 m und mehr erreichen kann. Kleinere flache Dolinen sind in den Boden dieser Interior Valleys eingesenkt.

In den anschließenden reinen, sehr dichten, kristallinen Kalken der im Cockpit Country herausgehobenen tieferen Horizonte der White-Limestone-Formation ist dagegen das klassische Kegelkarst-Relief entwickelt, das zuerst von Daneš hier studiert wurde. Die tiefen als „Cockpits“ bekannten Dolinen und die länglichen blindtalarartigen Uvalas, die „Glades“ genannt werden, sind gerade am Rand des Cockpit Countrys außerordentlich tief eingesenkt, oft bis zu mehreren

100 m, doch soviel ich sehe nirgends unter das Niveau der Randzone. Gleich anfangs auf dem Wege von Clarks Town durch das Cockpit Country trifft man eines dieser charakteristischen Glades an, das Barbecue bottom genannt wird (Abb. 10). Es wird von außerordentlich steilen Kegeln umsäumt, und sein Grundriß zeigt deutlich die konvex nach innen vorspringende Begrenzung, die ich für charakteristisch für die Kegelkarst-Gebiete halte, während die im kreidigen Material ausgebildeten Uvalas und Poljen mehr die vom Dinarischen Karst bekannten rundlichen Grundrisse aufweisen.

#### 5. Oberflächliche Korrosion der Kegel

In den von mir auf den Großen Antillen besuchten Kegelkarst-Gebieten sind die Kuppen nicht von Verwitterungsrückständen bedeckt. Die urwaldartige Vegetation, die übrigens trotz der hohen Niederschläge gelegentlich einen xerophytischen Einschlag hat, stockt unmittelbar auf dem Kalk, der außerordentlich tief und scharfkantig zerschrattet ist. Die durchweg sehr gut ausgebildeten Karren grenzen mit messerscharfen Graten aneinander, die das Erklimmen der Mogenotes zu keinem Vergnügen machen (Bild 4). Zuweilen sind die Karrengrate noch durchlöchert (Abb. 11). Die senkrechten Wände, die von relativ jungen Einbrüchen infolge von Unterschneidung herrühren, sind



Abb. 10: Barbecue-Bottom, Karsthohlform bei Clarks Town, Jamaica (Geländeskizze)

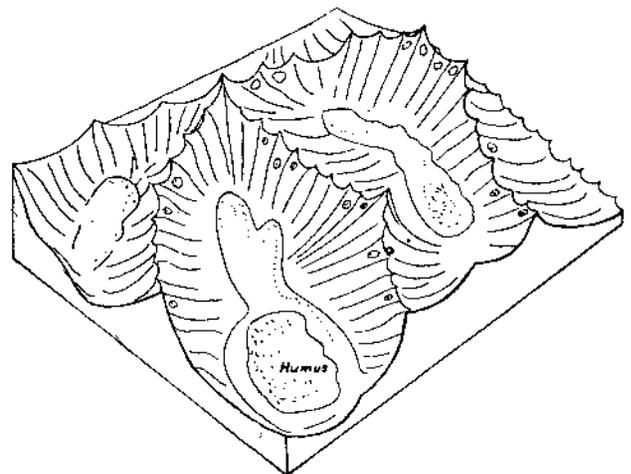


Abb. 11: Karrenwannen, von messerscharfen, z. T. durchlöcherten Karrengraten getrennt Sierra de los Organos, Cuba.

gestriemt durch lange, tiefe Karren. Die senkrechten Klüfte sind oft bis auf mehrere Meter erweitert und bilden tiefe in die Mogotes hineinführende Karren-gassen. Kreisrunde, röhrenförmige Jamas führen zwischen den Karrenpyramiden senkrecht in die Tiefe. Sie können sehr gut beobachtet werden, wo ein Kegel durch den Straßenbau angeschnitten ist, oder das Gelände zum Zweck eines kümmerlichen Anbaus gerodet worden ist. An einer solchen Stelle südlich des Cockpit Country auf Jamaica betrug der Abstand zwischen den einzelnen Jamas nur 4 bis 5 m.

Diese Verhältnisse zeigen, daß die oberflächliche Korrosion außerordentlich stark ist. Dies wird auch deutlich durch die bereits erwähnten „Stalaktiten-Vorhänge“ an überhängenden Partien. Sie bilden sich dadurch, daß das oberflächlich über den zerschratteten Kalk abrinne Wasser, das bei seinem kurzen Lauf bereits sehr viel Kalk gelöst haben muß, beim Herabtropfen über den Überhang verdunstet. Die gleichmäßige Zurundung der Kuppen, die vielleicht das augenfälligste Phänomen des tropischen Kegelkarstes darstellt, erklärt sich zwanglos aus der großen Intensität der oberflächlichen Korrosion. Wie stark im übrigen auch das periodisch in die Fußhöhlen einströmende

Wasser selektiv korrodiert, zeigen die außerordentlich schönen „Deckenkarren“, die man in vielen Fußhöhlen bei Viñales und in der oben beschriebenen Polje beobachten kann (vgl. Bild 5 u. 6). Sie setzen voraus, daß die Fußhöhlen zeitweise ganz von Wasser erfüllt werden.

#### Literatur

*H. Lehmann:* Der tropische Kegelkarst. Umschau f. Naturwiss. u. Techn. 1953, H. 18.

*H. Lehmann:* Der tropische Kegelkarst in Westindien. Verh. d. dt. Geogr.-Tages. Essen 1953. (In Vorbereitung)

*Levi Marrero:* Geografía de Cuba. La Habana 1951.

*Salvador Massip:* Introducción a la Geografía de Cuba. La Habana 1942.

*V. A. Zans:* On Carst Hydrology in Jamaica. Union Géodésique et Géophysique Internat. Bruxelles 1951, T. 2.

*H. A. Meyerhoff:* Geology of Puerto Rico. Monogr. of the Univ. of Puerto Rico. Series B, Nr. 1. 1933.

*H. A. Meyerhoff:* The Texture of Carst Topography in Cuba and Puerto Rico. Journal of Geomorphology. 1938.

*A. J. Pannekoek:* Enige Karstereinen in Indonesie, in Tijdschr. Kon. Nederl. Aardrijksk. Genootsch. 65, 1948.

## BERICHTE UND KLEINE MITTEILUNGEN

### KLIMA-MORPHOLOGISCHE ARBEITEN IN ÄTHIOPIEN IM FRÜHJAHR 1953

(Beiträge zur Geomorphologie der Klimazonen  
und Vorzeitklimata X)

*Julius Büdel*

Mit 1 Abbildung

*Results of investigations into climatically controlled landforms carried out in Ethiopia during spring 1953.*

*Summary:* The aim of this paper is to show how the three Ethiopian high plateaux, the Amhara, Kaffa, and Somali highlands, which make up the largest single highland of Africa, can be systematically divided, both horizontally and vertically, into climatically controlled landform zones. In addition to the landforms determined by the present climate, landforms can be distinguished in each of these zones which are due either to a past climate, the climate of a pluvial period, or to human interference with the morphological processes.

The lowland which surrounds these highlands is characterized by the contrast between the arid tropical zone, the Danakil Desert, in the north east, and the humid tropical zone of sheet erosion in the west and south. The characteristic features of these two zones do not differ from those of the rest of the Sahara and the Sudan.

The humid tropical zone extends up to 2000—2500 m. in altitude and shows characteristic tropical features, such as a predominance of chemical weathering and laterite formation, the presence of inselberge, and the existence of streams whose load contains little coarse material, and which show a tendency towards the formation of steps and cataracts. In this zone no morphologi-

cally important traces of a pluvial period are found. Even during the glacial periods the temperature of this warm equatorial zone was lowered only by about 4° C and never fell below freezing point; the contemporaneous increase in precipitation, which clearly was not very great in this area, also had little morphological effect. It seems that in this belt the same morphological processes have been active from the pliocene, through the ice age, to the present. Under the influence of human use, however, the laterites of this belt show a tendency towards soil erosion with the formation of gullies and subsequently of bad lands.

Above this zone lies the "Dega Zone" which extends from 2000—2500 m. to the upper limit of forest at 4200 m. As in the first zone the streams contain little coarse material in their load and have little downcutting power, while showing a tendency to form valley steps and cataracts. The laterites are replaced by deep and very fertile black soils with great capacity for absorbing water and a tendency towards solifluxion. In a former, more humid climatic period, probably the last pluvial period, pronounced solifluxion occurred down to an altitude of 2700—2600 m. even on slopes of only 3° gradient. Since even during the pluvial period frost was certainly not effective below 3500 m. we have here over a wide area the effects of soil creep of water-saturated soil without the influence of frost action. The resulting set of pluvial landforms, which consist of hills and shallow valleys, is clearly distinct from that of the lower sheet-erosion zone. Where there is a natural mountain forest cover, soil creep is at present limited to slopes of over 30°. As a result of agriculture soil creep has, however, been revived in a superficial and less pronounced form on slopes of over 7°. This man-induced soil creep also affects whole slopes; nowhere are there any indications of linear soil erosion and formation of bad lands in the black soil of the Dega