

rohr in ein neues Stadium. Obwohl das Zuckerrohr für ein Land mit einer solch spürbaren winterlichen Unterbrechung der Vegetationsperiode wie Louisiana nicht gerade geeignet ist, hat sich nach 1795 die Zuckerrohrkultur im Mississippidelta rasch durchgesetzt und trotz aller Rückschläge bis in die Gegenwart behauptet<sup>29</sup>). Das ist, trotz aller Verbesserungen in der Kultur des Rohres, letzten Endes nur auf Grund der Maßnahmen der amerikanischen Regierung möglich gewesen, die durch Schutzzölle und Subventionen das Aufgeben des Zuckerrohranbaus verhinderte.

Politisch und wirtschaftlich begann für Louisiana mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts ein neuer Zeitabschnitt. Die Zeit der Kolonialherrschaft war vorüber, die während der Kolonialzeit einzig wichtige, für den Export nach Europa kultivierte Handelspflanze des Mississippideltas, Indigo, wurde ersetzt durch das für den ameri-

kanischen Inlandsverbrauch Zucker liefernde Rohr, so wie weiter flüßauf an die Stelle des Tabaks die Baumwolle trat.

Noch immer ist am unteren Mississippi das Nachklingen der französischen Kolonisation zu verspüren. Die spanische Herrschaft hat das Land nicht geprägt, sondern nur die Vollendung dessen gebracht, was unter französischer Verwaltung eingeleitet worden war, sich aus den dargestellten Gründen aber nur langsam entwickeln konnte. Die Louisianafranzosen, in denen das deutsche Element seit langem aufgegangen ist, bilden die größte, geschlossen lebende fremdsprachliche Gruppe der Vereinigten Staaten. Heute, in einer Zeit fast überstürzter Industrialisierung der amerikanischen Golfküste, verliert allerdings die französische Sprache, der sich 1940 noch 300 000 Weiße und Neger in Louisiana bedienten, rasch an Verbreitung. Der Flußhufencharakter der Siedlung, die Beschränkung des Kulturlandes auf zwei schmale, durch Deiche geschützte Streifen auf beiden Seiten des Stromes bzw. seiner Nebenarme und das Nebeneinander von Groß- und Kleinbesitz sind die am meisten hervortretenden, aus der Kolonialzeit überlieferten Züge des Landschaftsbildes.

<sup>29</sup>) Vgl. hierzu: *Blume, H.*: Zuckerrohranbau am unteren Mississippi (Louisiana's Sugar Bowl), Münchner Geographische Hefte Nr. 5, Kallmünz/Regensburg 1954; ders.: Zuckerrohranbau in Andalusien verglichen mit dem Rohranbau in Louisiana, *Die Erde* 1956. Im Druck.

## KARSTMORPHOLOGISCHE, GEOLOGISCHE UND BOTANISCHE STUDIEN IN DER SIERRA DE LOS ORGANOS AUF CUBA

*H. Lehmann, K. Krömmelbein u. W. Lötschert*

Mit 6 Abbildungen und 13 Bildern

*Karst morphological, geological and botanical studies in the  
Sierra de los Organos, Cuba*

**Summary:** In the autumn of 1955 a research team from Frankfurt University carried out field investigations in the Sierra de los Organos, Cuba. Altogether an area of approximately 400 sq. Km. was mapped and investigated geomorphologically (by *H. Lehmann*), geologically (by *K. Krömmelbein*) and botanically (by *W. Lötschert*). In addition chemical research was pursued on karst corrosion processes under tropical conditions. The main object of the field investigations taken altogether was the study of the tropical type of karst and its genesis.

The Sierra de los Organos, the "Organ Pipe Range", forms a mountain chain in western Cuba stretching from La Palma to Guane. It is of "Laramic" folding, and its highest parts, which hardly exceed 500 m., consist of Jurassic to Cretaceous and possibly also Eocene limestones and a series of sandstones and shales, the so-called "Pizaras" or Cayetano-formation. These latter, which occur on both sides of the limestone sierras, form a maturely dissected area of hills of an average altitude of 300 m., as for instance between the Ancón and the Viñales-Inferno-Chain; in part, however, this hill area is considerably lower. Contrary to *Palmer* (1945), the Cayetano formation is, because of its pre-Oxfordian age, to be considered

older than the limestone in which, for the first time, fossils (*Trigonia* sp.) were found. Neither can *Vermunt's* opinion be maintained that the limestone is embedded within the Cayetano formation. Tectonically the mountains show an ordinary imbrication structure in which the succession of strata — Cayetano formation, Jagua-formation (Upper Oxfordian), Viñales limestone of Upper Jurassic to Cretaceous age — is repeated several times. The extent of the thrust faults is far smaller than was thought by *Palmer*; their dip is mainly northwards. The longitudinal and transversal faults are characterised by the occurrence of serpentine masses which are frequently joined to and kneaded with layers of the Habana formation. The age of the imbrication is Post-Eocene or Late-Eocene; the Eocene strata which have been affected tectonically and which superimpose normally the unstratified limestone of Cretaceous age still require a more exact stratigraphical classification.

As regards the morphology, the existing relief originated from an arch whose axis nearly coincides with the present watershed. The highest hills, however, the limestone sierras, are located north of this axis in the northern part of the arch. The results of the geomorphological research showed that three different levels were formed in the course of erosion and denudation. The oldest may be con-

sidered comparable to the Upper Miocene peneplain of other parts of Cuba. It corresponds with the level of the plateau-like limestone sierras taken as a whole, which are dissected into single limestone cones. A considerably lower level cuts the steeply dipping "Pizarras" and part of the limestone rocks. A third level is formed by plains and enclosed basins which surround the limestone sierras. Individually the limestone sierras show the typical "Kegelkarstrelief" of rounded cones and chimney like sinkholes or "Yamas". Their surface is completely covered by pointed lapies ("Karren"). Those beds which consist of other than the Upper Oxfordian pure limestone show no tendency towards formation of "Kegelkarst", though they too display karst topography.

It is a new observation that basins and plains, for which I suggest the name "Randpolien" (marginal poljes), without surface drainage, have formed around the limestone sierras. They all show the features of a polje, i. e. they are surrounded by higher ground, are without surface drainage, have a fairly flat bottom, but are bordered on one side by insoluble rocks ("Pizarras"). As is shown by isolated limestone towers ("Mogoten") which rise above the polje bottoms, these marginal poljes ("Randpolien") have expanded into the limestone from the boundary between the limestone and the shale. The drainage of these poljes takes place subterraneously through the limestone mountains. Evidently detritus of insoluble matter is also carried away subterraneously since sand and gravel of shale and serpentine occur at the mouths of cavernous rivers. In those cases where surface drainage is found, I suggest the adoption of the term Karst margin plains ("Karstrandebenen") as understood by K. Kayser, since these plains are mostly situated still within the limestone area. Both marginal poljes and karst margin plains always lie deeper than the neighbouring shale area and lie considerably deeper than the limestone sierras which rise out of them with steep cliffs of often more than 100 m. in height. In addition the genuine poljes completely surrounded by limestone are also found (Jaruko Hoyo, Portreito Hoyo, etc.). The development of the poljes, marginal poljes and karst margin plains is a result of undermining by karst corrosion as described by H. Lehmann elsewhere. The level of their bottoms depends on the level of the "Vorfluter", i. e. the surface streams into which they are being drained and which form a local base level.

The karst formation process advanced under tropical conditions at considerable speed. Although the warm tropical rainwater contains only small quantities of  $\text{CO}_2$  (2.5–3.5 milligrams per litre) a great quantity of  $\text{CO}_2$  is brought into the ooze water and the water running down the lapies ("Karren") by the carbon dioxide which becomes available through the respiration of the microorganisms of the endolithic limestone rows (*Verrucaria* sp.) and the macro vegetation. Our analysis showed that water which had been running down on limestone for only a short distance already contained up to 21 m.g. of free  $\text{CO}_2$  per litre. Consequently the corrosion effect is unusually great; analyses of water trickling down limestone showed up to 157 m.g.  $\text{CaCO}_3$  per litre. These quantities are considerably greater than those measured in Europe.

As regards the vegetation in the area of the Sierra de los Organos, according to the different ecological conditions three types of woods have developed. The xerophytic vegetation of the limestone is characterised by the joint occurrence of *Spathelia brittonii*, *Bombax emarginata* and *Carissia princeps*. The hilly Pizarras are covered with dry oak woods (with *Quercus virginiana*) and in the higher parts with woods of *Pinus tropicalis* and *Pinus caribbea*. Both oaks and pines form a mesophytic mixed forest.

#### Vorbemerkung:

Die in den Monaten August bis einschließlich Oktober 1955 in der Sierra de los Organos (Provinz Pinar del Rio, West-Cuba) mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft von H. Lehmann (Geomorphologie), K. Krömmelbein (Geologie) und W. Lötschert (Botanik) durchgeführten Arbeiten galten einem der ausgeprägtesten und landschaftlich reizvollsten Karstgebiete Westindiens.

Die Bezeichnung Sierra de los Organos (Orgelpfeifengebirge) ist ein bald im engeren, bald im weiteren Sinne gebrauchter Sammelname für mehrere teils parallele, teils gegeneinander gestaffelte Kalkketten zwischen La Palma und Guane in der Provinz Pinar del Rio. Die Untersuchungen beschränken sich auf den orographisch durch breite Scharten im Gebirgswald klar begrenzten mittleren Abschnitt zwischen der isolierten Kalkgruppe des Mogote La Jagua und dem Ostende der Sierra Quemado (s. Abb. 1). Eine frühere Bereisung des Gebietes durch H. Lehmann im Jahre 1952 hatte gezeigt, daß sich gerade hier nicht nur der beste Einblick in den Bau und die morphologische Entwicklung des Gebirges gewinnen ließ, sondern auch einige zentrale Fragen der Formgenese des tropischen Kegelkarstes besonders gut studiert werden konnten. Darüber hinaus bietet sich das wechselvolle Relief sowie die zonale Gliederung in Kalk- und Schieferzonen für vegetationskundliche und ökologische Studien an. Sehr erschwerend erwies sich zunächst das Fehlen brauchbarer topographischer Unterlagen. Für das Gebiet der Sierra de los Organos stehen — wie für ganz Cuba — bis jetzt nur die völlig unzulänglichen Militärkarten 1:100000 zur Verfügung. Ihre horizontalen Distanzen weisen Fehler bis zu mehreren Kilometern, die Höhenangaben solche bis zu 200 m und mehr auf. Die Geländedarstellung dieses Kartenwerkes läßt einen erheblichen Aufwand von freispieler Phantasie erkennen. Glücklicherweise wurde uns für unsere Arbeitsgebiete durch die freundliche Vermittlung von Dr. Gerardo Canet (Havana) ein vollständiger Satz der im Maßstab 1:40000 gehaltenen Luftbild-Reihenaufnahme sowie die Kopie eines nach ihnen angefertigten — freilich noch unvollendeten — entzerrten Planes gleichen Maßstabes vom Landwirtschaftsministerium zur Verfügung gestellt. Auf Grund dieser Unterlagen sowie zusätzlicher, mit dem Meßtisch durchgeführter graphischer Triangulierung und barometrischen Höhenmessungen konnte eine Karte des Arbeitsgebietes entworfen werden, die rund 400 qkm umfaßt. Die gleichen Unterlagen dienten für die geologischen und botanischen Arbeiten.

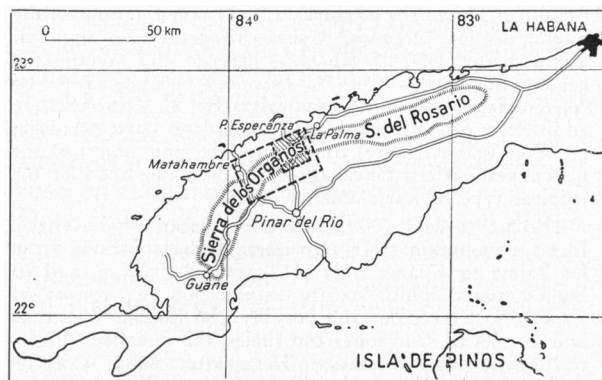


Abb. 1: West-Cuba

Lage des kartographisch erfaßten Arbeitsgebietes (gestricheltes Rechteck) und des in Abb. 2, 4 u. 6 wiedergegebenen Kartenausschnittes (schraffiert)

1. Zur Stratigraphie und Tektonik  
der Sierra de los Organos  
(K. Krömmelbein)

a) Stand der Forschung

Geologisch wird unter der Sierra de los Organos im weitesten Sinne das laramisch gefaltete Gebiet W-Cubas verstanden. Der ungefähr W-E, im W-Teil mehr SW-NE verlaufende Gebirgszug läßt sich im Streichen in drei Zonen aufgliedern: In eine südliche Pizarras-Zone<sup>1)</sup>, in eine mittlere Zone der Kalk-Sierren (Sierra de los Organos i. e. S.), die zuweilen durch Pizarras-Züge voneinander getrennt sind, und in eine nördliche Pizarras-Zone (die einen oder mehrere, morphologisch als Senken ausgebildete Kalkzüge enthalten kann). Eine Übersicht über diese Verhältnisse gibt u. a. die Karte von *Vermunt* 1937 sowie der „Atlas von Cuba“ von *G. Canet*.

Seit *A. v. Humboldt* ist das Gebiet berühmt; er war es, der in den morphologisch bemerkenswerten Kalken die Jura-Formation vermutete. Unter den späteren Arbeiten sind die von *C. de la Torre* hervorzuheben, der das Jura-Alter durch Fossilien belegte; unter den neuen die der nordamerikanischen Geologen (*Lewis* 1932, *Palmer* 1945) und die Arbeiten der holländischen Schule (für das bearbeitete Gebiet *Vermunt* 1937). Die neueren Landeskunden von Cuba geben manchen Hinweis (*Massip*, *Marrero*, *Canet*, *Jimenez*); ihre geologischen Profile gehen entweder auf *Massip* (Profile entworfen von *E. Raisz*) oder auf *Palmer* zurück. Die vorliegenden Ausführungen stützen sich auf eigene Feldbeobachtungen und setzen sich mit den bisherigen Auffassungen kritisch auseinander.

Ein erstes Problem, das einer Klärung zugeführt werden mußte, bieten die gegenseitigen Beziehungen der aufgeführten streichenden Zonen von Pizarras und Kalk, denn die einzelnen Bearbeiter sind in diesem Punkte zu erheblich voneinander abweichenden Meinungen gelangt. Die Gründe hierfür liegen in der noch nicht durchgeführten stratigraphischen Aufgliederung der mächtigen, an Makrofossilien ausgesprochen armen Kalkpakete, der vielfach fehlenden oder unklaren Aufschlüsse am Kontakt Kalk/Pizarras sowie der Unsicherheit in der Altersbestimmung der Pizarras-Schichten (= Cayetano-Formation). Auch die hier vorgelegte Bearbeitung konnte in manchen Fragen zu keiner eindeutigen Lösung gelangen und darf daher vielfach nur als An-

regung für weitere Einzeluntersuchungen gelten. Zur Klärung von Schichtenfolge und Tektonik wurden mehrere Profile abgegangen und zum Teil eingehender aufgenommen. Das vorläufige Ergebnis ist in dem Kartenausschnitt (Abb. 2) und in dem etwas generalisierenden Profil (Abb. 3) niedergelegt. Die endgültige Auswertung des Materials wird erst nach der Bestimmung der aufgesammelten Fossilien möglich sein. Das Hauptprofil liegt an der Straße von Pinar del Rio nach San Cayetano; es beginnt dort, wo der steile Anstieg der südlichen Pizarras-Zone die aus tertiären Schichten gebildete Küsten-Ebene abschließt. Schwerpunkte der Untersuchung lagen in der Gegend zwischen Viñales und San Vicente. Der Vervollständigung dienten Teilprofile links und rechts der Straße. Übersichtsbegehungen, die bis nach Guane und zwischen Cabezas und Matahambre ausgeführt wurden, schlossen sich Luftbild-Auswertungen an. Das so gewonnene Bild der Stratigraphie und Tektonik beruht auf einer Reihe von neuen Beobachtungen, es kann jedoch nur einen generellen Überblick vermitteln, da die zur Verfügung stehende Zeit keine vollständige und eingehende Kartierung des Arbeitsgebietes erlaubte. Es mußten daher manche der sich ergebenden Einzelprobleme offen gelassen werden.

b) Schichtenfolge

Die Jagua-Schichten *Palmer* (= Ober-Oxford) sind der Angelpunkt für die Stratigraphie. Fossilreich und im Streichen lang aushaltend, sind sie das einzige Schichtglied, über dessen Alter es bisher keine nennenswerten Meinungsverschiedenheiten gegeben hat. Über ihnen liegen die dick gebankten Kalke, der Viñales-Kalk<sup>2)</sup> mehrerer Autoren, der Mogoten-Kalk schlechthin. Er reicht vom höchsten Jura bis weit in die Kreide hinein<sup>3)</sup>. Unter den Jagua-Schichten liegen nach meiner Auffassung die Sandsteine und Ton-

<sup>2)</sup> Unter Viñales-Kalk oder Mogoten-Kalk sollen hier alle kompakten Kalke von Jura- und Kreide-Alter verstanden werden, die über den Jagua-Schichten liegen, mit Ausnahme der Habana-Formation, die zwar Kalke enthält, aber doch mehr durch Sandsteine und vulkanisches Material gekennzeichnet ist. Diese weite Fassung des Viñales-Kalkes scheint mir z. Z. richtiger zu sein als eine engere, die im Gelände doch noch nicht anwendbar ist. Praktisch sind wohl schon die meisten Kalke irgendwann als Viñales-Kalk angesprochen worden. Zudem ist der Begriff weder durch eine genaue Ortsangabe noch durch ausreichend petrographische oder faunistische Untersuchungen festgelegt.

<sup>3)</sup> Wie vollständig diese Jura-Kreide-Folge entwickelt ist, entzieht sich noch der genaueren Kenntnis. Den Herren Dr. *P. Brönnimann* und *P. B. Truitt*, Havanna, verdanke ich die Angaben, daß mehrere Kreide-Horizonte nachgewiesen werden können, und daß stellenweise sogar noch Eozän, offenbar konkordant über der Kreide folgt.

<sup>1)</sup> „Pizarras“ bedeutet allgemein: Schiefer; es handelt sich um die Sandsteine und Tonschiefer der Cayetano-Formation.



schiefer der Cayetano-Formation, anscheinend durch Übergänge mit diesen verbunden.

Erstmals konnten bei San Cayetano und südlich der Ancón-Kette am Weg zur Finca El Ancón in den Sandsteinen dieser Formation marine Fossilien gefunden werden, die Aussicht bieten für eine paläontologisch gesicherte Datierung (Trigonia-Bank).

Über das Alter der Cayetano-Formation gingen die Auffassungen bisher weit auseinander. Paläozoikum und wohl auch älteres Mesozoikum müssen nach den neuen Fossilfinden ausscheiden, aber auch eine vielfach angenommene (z. B. von Schuchert 1935, Taf. nach S. 410) Gebirgsbildung zwischen Mittel- bis Oberjura/Unterkreide verliert an Wahrscheinlichkeit, da nach meiner Meinung eine konkordante Folge Cayetano-Jagua-Viñales-Formation vorliegt.

Lewis (1932 S. 536 und Profil S. 535) und Brown und Connells (1922) Angaben: „Pre-Middle-Jurassic“ lassen sich nach Bearbeitung der Trigonen wohl präzisieren.

Zu entgegengesetzter Ansicht kam Palmer (1945, Tab. 1). Nach ihm hat die Cayetano-Formation oberkretazisches Alter und liegt über dem Viñales-Kalk. Zu dieser Auffassung kann man in der Tat leicht gelangen, da entlang einem Profil z. B. zwischen Viñales und San Cayetano ein N-Fallen der Schichten überwiegt und so die Cayetano-Formation normal über dem Viñales-Kalk zu liegen scheint. Gegen diese hohe Einstufung der Cayetano-Formation durch Palmer sprechen jedoch einige Beobachtungen: Z. B. die an manchen Stellen wahrzunehmende tektonische Natur des Kontaktes zwischen Viñales-Kalk und Cayetano-Formation; zum anderen scheinen fazielle Übergänge zwischen den Schiefern und Sandsteinen und dem Kalk zu bestehen (beobachtet in den Bachläufen E Viñales, wo in der Übergangszone zwischen den typischen Cayetano-Gesteinen und den kompakten Kalk-Bänken sandig-mergelige Bildungen, Kalksandsteine und Sandlinsen in unreinen Kalken vorkommen<sup>4</sup>).

Trotz alledem besteht immer noch die Möglichkeit eines oberkretazischen Alters wenigstens für einen Teil der Cayetano-Formation; erst die weitere Klärung der Stratigraphie und vielleicht auch die Bearbeitung der von mir gesammelten

Trigonen können den exakten Altersbeweis erbringen. Große Bedeutung ist dabei der Aufgliederung des Viñales-Kalkes beizumessen. Läßt sich erweisen, daß jeweils verschieden alte, zur Zeit noch als Viñales-Kalk zusammengefaßte Gesteine am Kontakt gegen die Cayetano-Formation anstoßen, dann dürfte damit ein wesentliches Argument für ein oberkretazisches Alter entfallen, denn dieses basiert wohl wesentlich auf der scheinbaren Überlagerung auf den als unterkretazisch aufgefaßten Viñales-Kalk.

Vermunt (1937) andererseits faßte alle Kalke und die Cayetano-Gesteine als fazielle Glieder seiner „San Andres-Formation“ (Jura-Kreide) zusammen; er hält die Kalkzüge stets für Einlagerungen in die Cayetano-Fazies und kommt auf diese Weise in seiner geologischen Karte der Provinz Pinar del Rio zu einem recht störungsarmen Bild. Allerdings weist auch er auf die nicht normalen Kontakte zwischen Kalk gegen Serpentin und Habana-Formation besonders hin (S. 25). Diese Deutung Vermunts wird aber schon durch die Beobachtung einer wenigstens zweimaligen Wiederholung der Folge Cayetano-Jagua-Viñales-Formation grundsätzlich unwahrscheinlich. Normal über den Kalken liegende Cayetano-Sandsteine- und Schiefer gibt es nach meiner Beobachtung nicht. Auch der Nachweis von weiteren, häufig durch Serpentin und metamorphen Schiefern kenntlichen Störungen spricht ebenso dagegen.

### c) Tektonik

Der tektonische Stil ist ein ausgesprochener Schuppenbau. Viele Kilometer lange streichende Störungen zerlegen das Gebirge in Streifen von etwa einen bis mehrere Kilometer Breite, in denen zumeist die stratigraphische Folge Cayetano-Formation / Jagua-Formation / Viñales-Kalk auftritt (z. B. in der Ancón-Zone), oder auch der Kalk (Valle de Viñales) oder die Cayetano-Formation allein vorkommen können (südliche und nördliche Cayetano-Zone). Häufig sind die Störungslinien durch das Auftreten von  $\pm$  schmalen oder linsenförmigen Serpentin-Massen gekennzeichnet, die ihrerseits vielfach mit Gesteinen der Habana-Formation verknüpft, durchgeknetet oder verschuppt sein können, so daß beide kartiermäßig meist nicht getrennt werden können<sup>5</sup>). Das Alter der Verschuppung ist post-

<sup>4</sup>) Diese Beobachtungen wurden zusammen mit Mr. P. W. Truitt gemacht, dem ich auch sonst manchen Hinweis und klärende Diskussion verdanke. Eine dreiwöchige gemeinsame Gelände-Arbeit hat die vorliegende Arbeit ergebnisreicher gemacht, als ich ursprünglich hoffen konnte. Seine Mitarbeit kommt besonders auch in der geologischen Karte (Abb. 2) zum Ausdruck.

<sup>5</sup>) Das häufige Zusammenvorkommen von Serpentin und Habana-Formation scheint mir bemerkenswert, bietet aber manches Rätsel. Ebenso ist die Rolle und die Herkunft des Serpentin recht unklar. An dieser Stelle sei nur auf die Beobachtungen verwiesen, ohne daß Erklärungen versucht werden sollen.



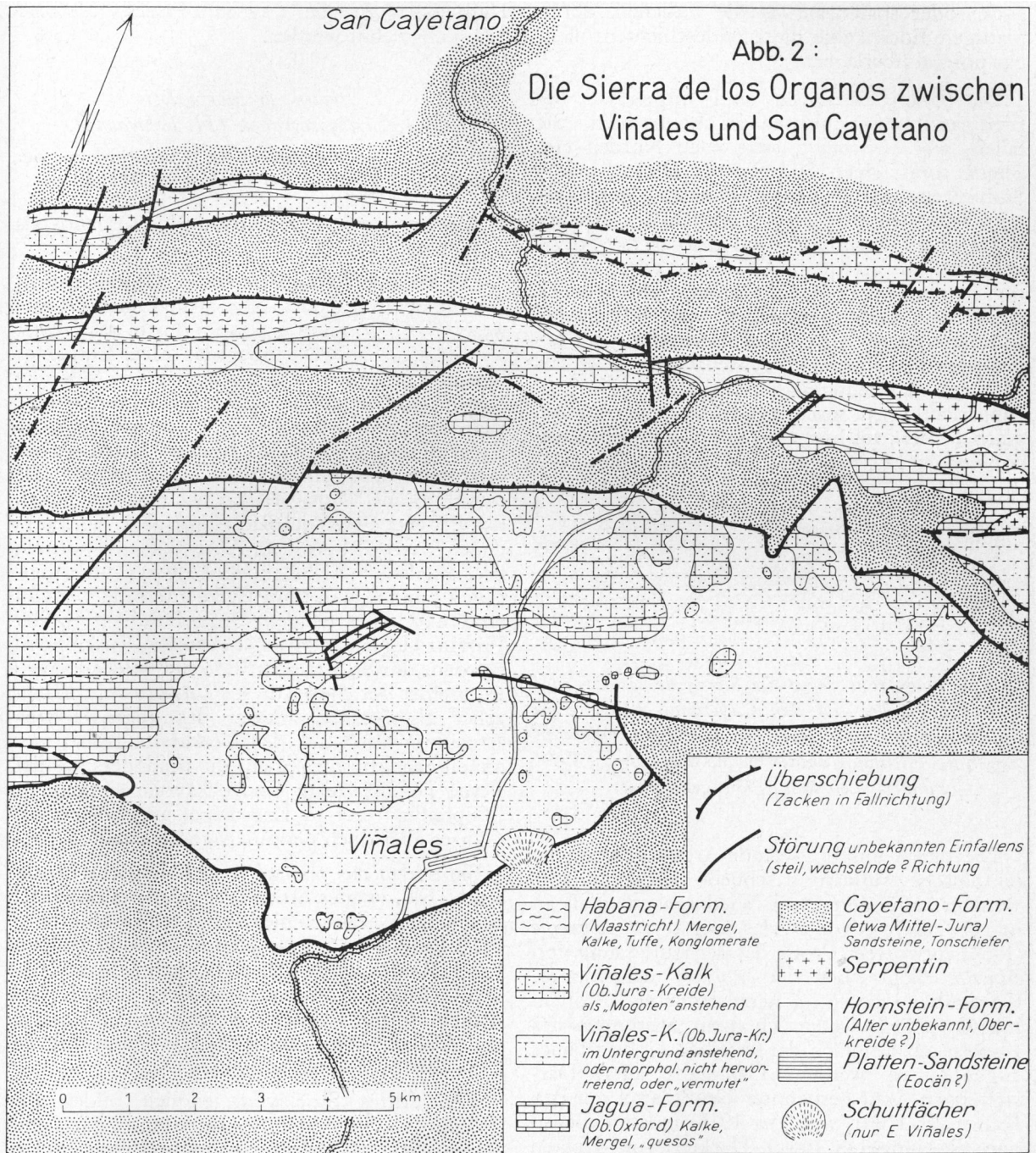


Abb. 2: Vereinfachte geologische Karte der Sierra de los Organos zwischen Viñales und San Cayetano. Auf der Grundlage von Luftbildern 1 : 40 000. Genauer aufgenommene Einzelprofile ergänzt durch Auswertung der Luftbilder, sowie örtlicher Überprüfung besonders wichtig erscheinender Punkte im Gelände. Von der Vereinfachung besonders betroffen sind folgende Gebiete und Formationen:

1. Das Gebiet im östlichen Teil des Valle de Viñales („Laguna de piedra“). Die dort verbreiteten Jagua-Mergel

sind in der Signatur „Viñales-Kalk im Untergrund“ dargestellt worden.

- Einzelne, kleinere Serpentin-Vorkommen sind nicht eingezeichnet.
- Das Alter der als „Jagua-Formation“ eingetragenen Kalke am westlichen Kartenrand ist paläontologisch nicht gesichert. Kleinere Vorkommen oberkretazischer Kalke sind nicht eingezeichnet.
- Der nördliche und mittlere Cayetano-Zug enthält stellenweise fossilführende Gesteine der Jagua-Formation, bes. S der Ancón-Kette und E von Balneario San Vicente.



eocän oder späteocän, da die rötlichen, dünnplattigen Eocänkalke die Kreideschichten offenbar normal überlagern<sup>6)</sup>).

Die Überschiebungen sind nirgendwo befriedigend aufgeschlossen zu beobachten. Sie fallen, wie es scheint, stets nach Norden ein, zeigen somit einen Südvergenz. Diese (steile?) Südvergenz wurde aus dem Faltenbau der Cayetano-Schichten besonders nördlich der Ancón-Kette erschlossen. Dort, und auch an der Straße zwischen San Vicente und La Palma treten spitze, oft isoklinale Falten auf, deren Achsenebenen meist steil nach N einfallen. Das streichende Störungssystem wird  $\pm$  rechtwinklig von NS verlaufenden Störungen gekreuzt, die meist nur kleinere Versetzungen hervorrufen; beide Störungsrichtungen machen sich auch morphologisch bemerkbar und sind auf den Luftbilddaufnahmen oft hervorragend gut zu erkennen.

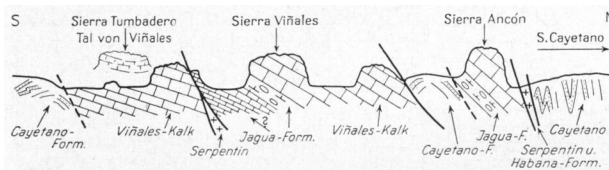


Abb. 3: Querprofil durch die Sierra de los Organos zwischen Viñales und San Cayetano. Länge etwa 12 km. Stark vereinfacht. Des leichteren Vergleichs wegen in Anlehnung an die Profile von Palmer, 1945, und H. Lehmann, 1954, gezeichnet.

Die durch unsere Gelände-Arbeit gewonnene tektonische Auffassung schließt sich somit weit weniger an jüngere Profil-Wiedergaben an als manche ältere sowie an das jüngst von Lehmann (1954) entworfene Profil, das der Auffassung von Massip, nicht aber der Palmers nahekommt. Gegenüber diesen generalisierenden Profilen müssen jedoch wesentlich mehr Störungen des zumeist allzu einfach dargestellten Gebirgsbaues angenommen werden. Die ganz alten Darstellungen (weit gespannter Groß-Sattel mit den Kalken im Kern, de Golyer 1918) müssen ebenso wie die jüngeren (zwei Decken von Kalken wurzellos auf Cayetano-Schichten zwischen dem Ort Viñales und der Sierra Ancón, Palmer 1945; oder normale Einlagerung der mächtigen

Kalk-zonen in die Cayetano-Fazies, Vermunt 1937) abgelehnt werden.

## 2. Studien zur Morphologie und Karsthydrographie (H. Lehmann)

(Vgl. hierzu die morphologische Übersichtskarte der Umgebung von Viñales und San Vicente, Abb. 4.)

### a) Morphogenese der Sierra de los Organos als Ganzes

Das heutige Relief ist selbstverständlich nicht das Ergebnis der post- oder späteocänen Orogenese. Im Oligocän und Miocän dürfte das Gebiet als niedrige Schwelle über das Meer aufgeragt haben. Von seiner frühen Entwicklung läßt sich wenig mehr sagen, als daß es im Alttertiär eine sich langsam heraushebende morphologische Aufwölbung (Großfalte) bildete, deren Achse etwa der heutigen Wasserscheide folgte. Die untermiocäne Transgression hat nur den Süden der Provinz Pinar del Rio, nicht aber die Sierra de los Organos betroffen. Aber da die diskordant das alttertiäre Relief überlagernden untermiocänen Guines-Kalke auf Cuba ihrerseits verstellt sind und nach meinen Beobachtungen in der Provinz Havanna von einer Fastebene geschnitten werden, dürfen wir am Ende des Miocäns auch im Gebiet der Sierra de los Organos ein Flachrelief als Ausgangsniveau des gegenwärtigen Erosionszyklus und des Verkarstungsprozesses annehmen. Hierfür spricht die besonders aus der Ferne gesehen recht eindrucksvolle einheitliche „Gipfelflur“ der in Karstkegel aufgelösten, als Ganzes aber doch plateauartigen Sierran.

Sie bilden das oberste morphologische Stockwerk. Ein zweites Stockwerk wird repräsentiert durch das wesentlich niedrigere, reif zerschnittene Hügelland der Pizarras, dessen auffällig einheitliches Riedelniveau sich z. T. auch in das Kalkgebiet hinein fortsetzt. Besonders südlich und östlich Viñales ist dieses Niveau als einheitliche, das Valle Viñales umsäumende Randstufe in 175–200 m deutlich ausgebildet.

Ein drittes Stockwerk endlich bilden die „Valles“ — die Böden der Karstrandebenen und Randpoljen, die uns als ein karstmorphologisches Charakteristikum des Gebietes noch besonders beschäftigen werden. Sie liegen am Südrand der Sierran in durchschnittlich 100–130 m, am Nordrand in 50–80 m Meereshöhe. Die Niveaus dieser drei Stockwerke schneiden ausnahmslos den mehr oder minder komplizierten Schichtbau.

Betrachtet man ihre räumliche Anordnung, so fallen vor allem zwei Tatsachen ins Auge: die höchsten Erhebungen, nämlich die Kalk-Sierran,

<sup>6)</sup> Vgl. Fußnote 3. Die besagten Eocänkalke können am besten studiert werden im W-Teil des Polje El Ancón und westlich Mina Constanza bei San Vicente. An diesem letzteren Fundpunkt sind die Gesteine mehr plattig, schiefrig-sandig, z. T. treten Gerölle auf.

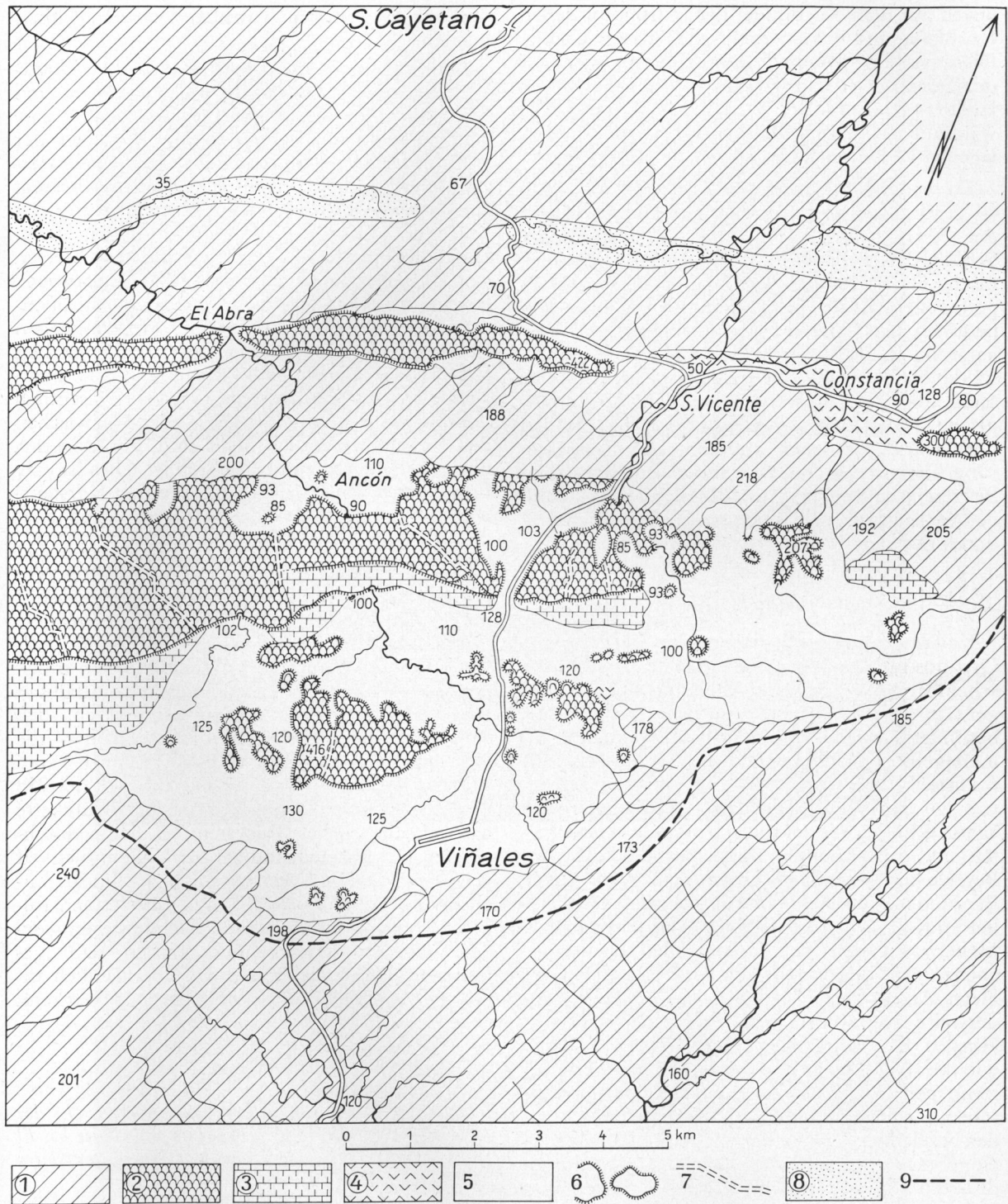


Abb. 4: Morphologische Übersichtskarte der Sierra los Organos zwischen Viñales und San Cayetano.

- 1 reif zerschnittenes Pizarras-Hügelland
- 2 Kalk-Sierren mit Kegelkarstrelief
- 3 verkarstete Gebiete ohne Kegelkarstrelief, vorwiegend schräge Rampen im Bereich der Ober-Oxfordschichten
- 4 Karrenfelder im Niveau der Randpoljen
- 5 Randpoljen
- 6 durch Korrosionsunterschneidung gebildete Steilwände im Kalk
- 7 größere durchlaufende Karstgassen
- 8 Tiefenzonen im Bereich eingefalteter Kalke
- 9 Hauptwasserscheide

Die Zahlen geben die Höhe über NN an.



liegen auf dem Nordflügel der morphologischen Großfalte und bilden nicht die Wasserscheide. Diese verläuft vielmehr südlich von ihnen auf dem niedrigeren Stockwerk des Pizarras-Hügellandes — bei Viñales in nur 175 m Höhe —, während die unmittelbar nördlich von ihr gelegenen Kalk-Sierren bis zu 500 m aufragen.

Da weder rückschreitende Erosion noch junge — etwa pliozäne — blockartige Heraushebung der Sierren in Frage kommt, bleibt nur der Schluß, daß die Kalk-Sierren quasi als morphologische Härtlingszüge gegenüber den rascher abgetragenen Sandsteinen, Tonschiefern und Serpentinien herauspräpariert sind. Gerade die Verkarstung der Kalke erklärt den Härtlingscharakter der Sierren als Ganzes, unbeschadet der Tatsache, daß sich örtlich an den Kalk morphologische Tiefenzonen in Gestalt von Randpoljen oder Karstrandebenen knüpfen. Die Entwässerung konnte von dem weit unter das Niveau der Sierren erniedrigten Aufwölbungsscheitel dank der Verkarstung auch ihre generelle Nordrichtung durch die Sierren hindurch beibehalten.

#### b) Morphologie der Kalksierren

Karstmorphologisch nimmt die Sierra de los Organos innerhalb der Karstgebiete Westindiens scheinbar eine besondere Stellung ein. Im Gegensatz zu den jüngeren tertiären Kalken, die besonders im Cockpitcountry auf Jamaica, im Karstgebiet von Puerto Rico und stellenweise auf Cuba selbst den Typus des Kegelkarstes zeigen, wie wir ihn von Java kennen (Gunung Sewu-Typus), bilden die tektonisch stärker zerstückelten und verschuppten mesozoischen Kalke im Bereich der Sierra de los Organos ausgesprochene Bergketten, die sich oft mit vorgelagerten isolierten Kalktürmen („Mogoten“) als geschlossene Mauern aus den sie umsäumenden Karstrandebenen bzw. Randpoljen erheben. Die Front der Sierra Ancón-Sierra Galeras (Bild 1), bezeichnenderweise auch „costa nera“ genannt, bietet von Norden her einen ebenso imposanten Anblick wie die steile Flanke der Sierra Viñales-Sierra inferno von Süden her (Bild 2). Die charakteristischen Kegelkarstkonturen haben dem Gebirge den bezeichnenden Namen „Orgelpfeifengebirge“ eingebracht. Diese Steilwände stehen zwar im indirekten Zusammenhang mit der alttertiären Tektonik des Gebietes, sind jedoch nicht als Bruchränder oder gar Überschiebungsstirnen aufzufassen. Morphologisch handelt es sich vielmehr um karstkorrosiv bedingte „Unterschneidungswände“, die von der Kalk-Schiefer-Grenze zurückschließen. Auch die Mogoten in der Sierra de los Organos sind überwiegend steilwandig, so

wie wir es von den Turmkarstgebieten Chinas kennen.

Die Frage nach den physiognomischen Unterschieden der Karstgebiete von Puerto Rico und Cuba hat Meyerhoff beschäftigt. Er glaubte eine einfache mathematische Relation zwischen der Anzahl der Kegel pro qkm und ihrer Höhe feststellen zu können. Eine solche Relation besteht jedoch nach meinen — durch Auswertung der Luftbilder ergänzten — Beobachtungen nicht. Das Kuppenrelief auf den plateauartigen Sierren bzw. auf der Höhe einzelner Mogotengruppen weicht der räumlichen Struktur und Größenordnung nach nicht wesentlich von demjenigen Puerto Ricos oder Jamaicas ab (Bild 3). Der Unterschied besteht nur darin, daß die Steilwände in der Sierra de los Organos wesentlich höher bzw. die schlotartigen Cockpits zwischen den Kegeln wesentlich tiefer sind, als es in den übrigen Gebieten zu beobachten ist. Dies ist eine Folge der tiefen Lage der ausgereiften Karstentwässerung und der primären tektonischen Zerstückelung des Gebietes.

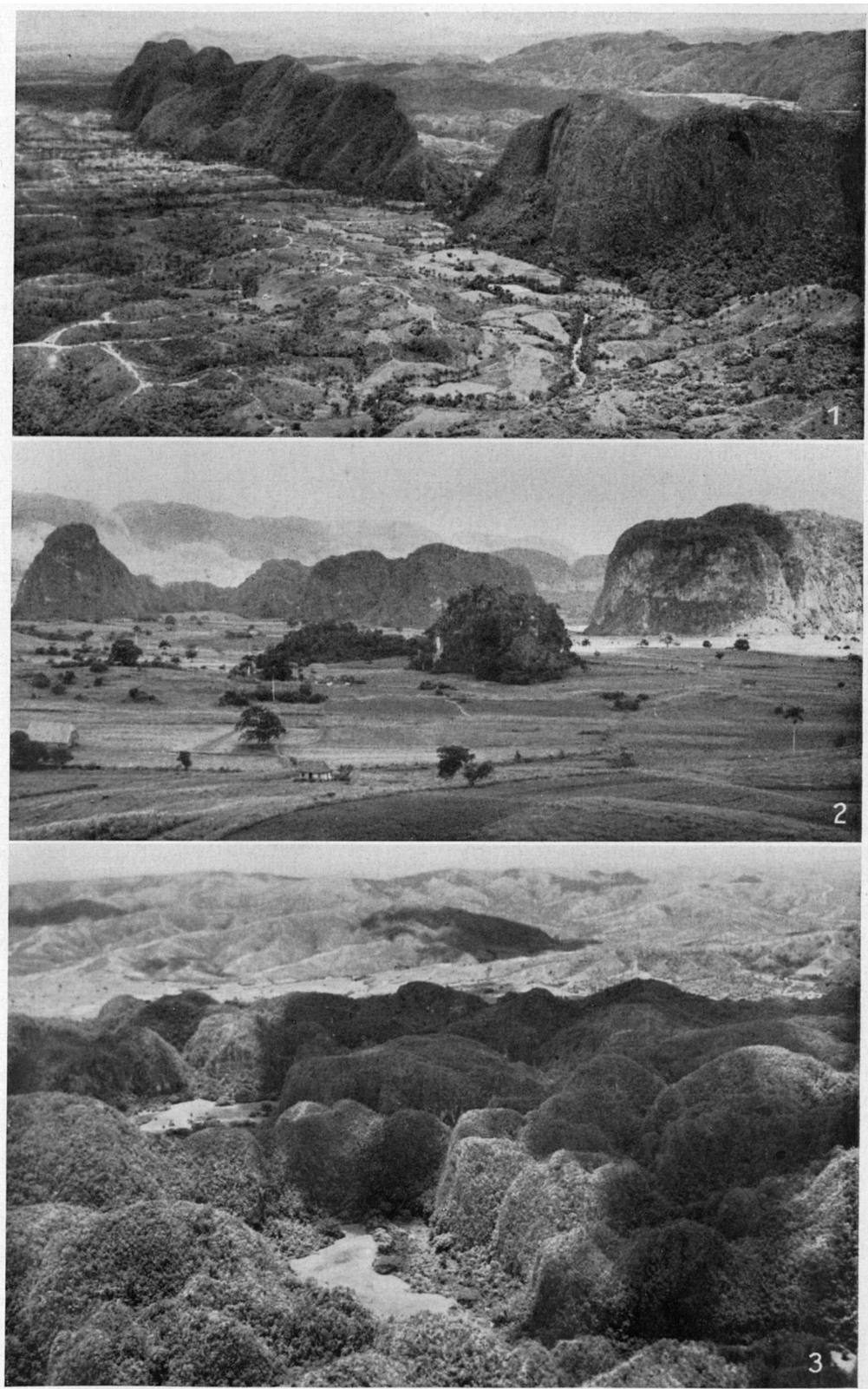
Die Auflösung in isolierte Türme (Mogoten) erfolgt von den Rändern her. Sie wird begünstigt durch tektonische Störungszonen, denen tiefe und langhinziehende „Karstgassen“ folgen. Solche Karstgassen kerben den geschlossenen Block der Sierra Viñales und Sierra inferno in auffälliger Weise. Es scheint mir nicht unmöglich, daß einige von ihnen aus älteren Talsystemen — die ihrerseits wieder tektonisch vorgezeichnet waren — hervorgegangen sind. Im Durchbruch des Rio Ancón durch die schmale nördliche Kalkkette hat sich ein solches Talsystem bis heute durchgesetzt. Die übrigen sind bis zur Unkenntlichkeit verkarstet. Daß Karstgassen bzw. linear aneinandergereihte Cockpits alten Bruchlinien folgen, ist von Zans auf Jamaica nachgewiesen worden. Ich habe demgegenüber gezeigt, daß „gerichteter“ Karst auch aus einem oberflächlich angelegten Entwässerungssystem hervorgehen kann (Lehmann 1953, 1955).

*Bild 1: Die Sierra Ancón von NW gesehen. (In der Mitte der vom Rio Ancón benutzte Einschnitt bei El Abra Ancón. Im Vordergrund und hinter der Sierra Hüggelland der Cayetano-Formation.)*

*Bild 2: Die Sierra Viñales mit den vorgelagerten, aus dem Randpolje von Viñales aufragenden „Mogoten“.*

*Bild 3: Die Sierra de Sumidero. (Typisches Kegelkarstrelief mit den Poljen Portrerito und Pica-Pica.) Im Hintergrund erhebt sich über der Karstrandebene von Luis Lazo das Hüggelland des Pizarras mit normaler fluvialer Erosion.*





### c) Randpoljen und Karstrandebenen

Ein äußerst charakteristischer Zug der Sierra de los Organos sind die „Randpoljen“ und „Karstrandebenen“, die in geschlossener Folge die Kalksierren umsäumen. Bei den ersten handelt es sich um allseitig von höherem Gelände umgebene Becken mit mehr oder minder flachem Boden, die durch Ponore unterirdisch durch das Kalkgebiet entwässern. Von echten Poljen unterscheidet sie nur die Tatsache, daß sie nicht völlig vom Kalk umgeben sind, vielmehr eine Seite durch undurchlässige Gesteine (Schiefer) mit normalen Erosionsformen gebildet wird. Die Entwässerung ist stets gegen das Kalkgebiet gerichtet, und dementsprechend senken sich die Böden der Randpoljen sanft gegen die aus Kalk gebildeten Steilwände. Hier verschwinden die perennierenden oder periodisch fließenden Flüsse in Höhlen. Das beste Beispiel solcher Randpoljen sind das Valle Viñales und das Polje südlich San Vicente (vgl. Abb. 4). Im Gegensatz zu diesen Randpoljen haben die Karstrandebenen eine oberflächliche Entwässerung. Aber ähnlich wie die Randpoljen greifen sie buchtartig in das Kalkgebiet ein. Auch sie sind deutlich gegenüber dem angrenzenden Schiefergebiet eingesenkt und ihr Untergrund besteht — wenigstens größtenteils — aus Kalk, der mit Lösungsrückständen und angeschwemmtem Material bedeckt ist, sich aber in den daraus aufragenden Karrensteinen und größeren Mogoten kundgibt. Ähnlich wie die Poljen im dinarischen Karst sind die Randpoljen und Karstrandebenen der Sierra de los Organos, die fruchtbarsten, besonders dem Tabakanbau dienenden Gebiete zwischen dem urwaldbedeckten Karstgelände und dem steinigem Schieferhügelland.

Die Entwicklung der Karstrandebenen und Randpoljen ist offensichtlich ursächlich an die Kalk-Schiefer-Grenze geknüpft. Von den kleinen Randsenken, die untrüglich den Gesteinswechsel im Untergrund anzeigen, bis zu den großdimensionierten Ebenen von Viñales oder Isabell Maria umgibt die Sierren eine Tiefenzone, die in den Kalk hineingearbeitet ist. Die von Kalk gebildeten Seiten sind stets steil, meist sogar mauerartig und werden von offenen oder verdeckten Ponoren in dichter Folge begleitet („Fußhöhlen“). Nur im Bereich der Jagua-Formation (Obere Oxfordschichten) mit ihren unreinen Kalken sind schräge Hänge ausgebildet.

Das Zurückweichen der Wände wie auch die Isolierung der Mogoten erfolgt durch die von mir bereits früher geschilderte Korrosions-Unter-schneidung. Die durch Schiefer gebildeten Rand-dartien werden dagegen durch normale Erosions-

tälchen zerschnitten, wobei die Abtragungs-produkte des undurchlässigen Gesteins teils in Form von sehr feinen rötlichbraunen suspen-diertem Material, als Flußtrübe, teils aber auch in Form von Sand und Kies durch die Kalk-kette unterirdisch hindurchtransportiert werden. Allochthones Material findet sich reichlich in den Kiesbänken der Höhlenflüsse weit im Berginnern, sowie bei ihrem Austritt, z. B. finden sich im Bett des Höhlenflusses von San Vicente frisch abgelagerte, haselnußgroße Schotter von Sandstein und Serpentin. Ohne einen solchen unterirdischen Materialtransport wäre die Entstehung der Randpoljen auch kaum denkbar, da stets ein beträchtlicher Prozentsatz nichtlöslicher Gesteine ausgeräumt worden sein muß. Ein gutes Beispiel dieser Verhältnisse gibt das kleinere Randpolje von Santo Thomas (vgl. Abb. 5).

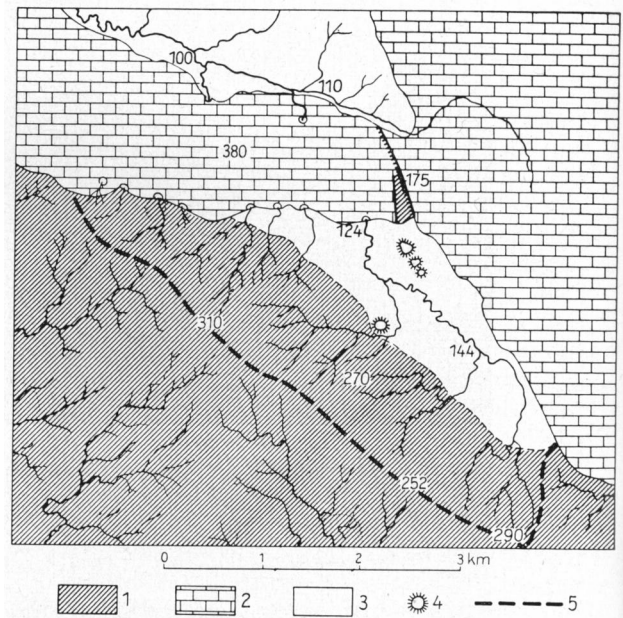


Abb. 5: Das „Randpolje“ von Santo-Thomas.

1. Cayetano — Schieferhügelland
2. Kalkkette
3. Randpolje (im N: Karstrandebene)
4. isolierte Kalkkegel
5. Wasserscheide.

Die Zahlen geben die Höhen über NN an

Soweit die Böden der Randpoljen bzw. Karstrandebenen von (heute meist wieder zerschnittenen) Ablagerungen bedeckt sind, beteiligen sich daran dementsprechend außer den terrarossa-ähnlichen Rückständen des Kalkes auch mehr oder minder feinkörnige Einschwemmungen aus allochthonem Material. Die Randpoljen sind also komplexe Gebilde, doch trägt die Karstkorrosion den Hauptanteil ihrer Entstehung. Dolinenartige



Senken im Poljeboden — sowohl in den höhergelegenen Teilen, wie besonders am Rand der Steilwände bzw. der Mogoten — erweisen, daß die Korrosion auch unter einer mehr oder minder mächtigen Bodendecke weiter fortschreitet (Bild 9)

d) Karsthydrographische Niveaus.

In der Höhenlage korrespondieren die Niveaus benachbarter Randpoljen auffällig, auch wenn sie durch eine mehrere Kilometer breite Kalkkette voneinander getrennt sind. So liegen die Randpoljen rings um die Sierra Viñales, Sierra del Inferno, Sierra Celada und Sierra Quemado durchweg in 90–120 m Höhe, die südlichen jeweils wenige Meter höher als die nördlichen. Der Boden der Poljen bzw. Karstrandebenen ist nicht völlig eben, sondern gegen den Steilrand der Sierrn geneigt. Außerdem zeigen sich überall Spuren einer flachwelligen Zerschneidung der Poljeablagerungen, die jedoch nirgends bis zum Liegenden hinabreicht.

Diese übereinstimmende Höhenlage kann nicht bedingt sein durch die zufällig gleiche Lage des stauenden undurchlässigen Untergrundes, denn mindestens beim Valle Viñales, dem Randpolje von San Vicente und dem Randpolje von Ancón fallen die Kalke entsprechend der Schuppenstruktur steil unter den Poljeboden ein.

Dagegen scheint sich die Vermutung, daß die Höhenlage der Poljeböden durch den Vorfluter bestimmt wird, zu bestätigen. Dies besagt nicht, daß das Vorflutniveau die untere Grenze der Höhlenbildung oder gar der Wasserbewegung darstellt. Doch sind für die Höhenlage der Randpolje beiderseits der Viñaleskette maßgebend der Rio Ancón und der Rio San Vicente, die beide in 90 m Meereshöhe vom Kalk in den Schiefer übertreten. Das Gefälle der Höhlenflüsse bzw. der bereits außer Funktion gesetzten Höhlensysteme im Kalk selbst ist, soweit man sie verfolgen kann, dabei auffällig gering. Auf mehrere Kilometer Luftlinie beträgt sie meist nur wenige Meter. Die meisten Höhlen sind daher relativ leicht begehbar, ja man kann in ihnen gelegentlich Sierrn durchqueren und dadurch weite Umwege sparen. Ein einheitliches karsthydrographisches Niveau wird auch bestätigt durch die mit den Randpoljen in der Höhenlage korrespondierenden echten Poljen (Hoyos), von denen das Jarukohoyo südwestlich von San Vicente ein gutes Beispiel ist.

Sein Boden liegt in der gleichen Höhe wie der des benachbarten Randpoljes; die Entwässerung erfolgt unterirdisch durch eine flache Doline im Poljenboden. Weiter im Westen, in der nicht mehr in unserem Arbeitsgebiet liegenden Sierra Sumidero, gibt es bebauten Hoyos, die überhaupt nur durch eine Höhle zugänglich

sind, z. B. das Potrerito-hoyo (Bild 3). Für diese Hoyo — aber nicht für alle — läßt sich die Entstehung über einem unterirdischen Flußlauf nachweisen. Cockpit und Hoyo unterscheiden sich nur durch die Größenordnung und den flachen Boden des letzteren, genetisch sind sie jedoch eng verwandt. Die Höhenlage der Hoyos stimmt in allen von mir untersuchten Fällen mit der der benachbarten Randpoljen überein. Ein wasserstauender Horizont an der Basis der Kalke kann erst in sehr beträchtlicher Tiefe unter dem Hoyo-Boden angenommen werden, für dessen Höhenlage also nicht verantwortlich sein. So weisen auch die Hoyos auf die Existenz eines nicht petrographisch bedingten Korrosions-Niveaus hin, das als ein örtliches (d. h. auf einen einheitlichen Vorfluter bezogenes) und zeitliches (also nicht endgültiges) Basisniveau gelten kann. Dieser Befund in Zusammenhang mit der oben erwähnten Beobachtung eines ungehinderten Materialtransportes auf den unterirdischen Wegen der Höhlenflüsse erlaubt gewisse Rückschlüsse auf die Karsthydrographie des Gebietes. Die heute ständig durchflossenen Karstgerinne und Höhlenflußsysteme sind offenbar auf die Höhe des Vorfluters, d. h. die Lage der Abflußbrinnen beim Austritt aus dem Karstgebiet eingestellt. Nirgends treten Karstquellen über dem Niveau der Polje auf. Dieser einheitliche Horizont ist aber nicht identisch mit dem von A. Grund angenommenen Karstgrundwasserspiegel, da die durch Materialtransport erwiesenen unterirdischen Entwässerungssysteme der Definition des Grundwassers widersprechen. Die unterirdische Drainage hat mehr oder weniger den Charakter eines offenen Systems. Dieser klärt das unmittelbare, höchstens nach Stunden zählende Reagieren der Wasseraustritte auf die tropischen Regengüsse, sowie den geringen z. T. völlig fehlenden 'Filtrationseffekt' der unterirdischen Drainage.

Den heutigen Höhlenflußsystemen sind in der Sierra de los Organos meist höhere, außer Funktion gesetzte Stockwerke zugeordnet. Sie werden heute höchstens auf kurze Strecken — aber nie durchlaufend — intermittierend nach stärkeren Regengüssen von dem an der Karsoberfläche eindringenden Wasser benutzt<sup>7)</sup>.

Mehrere der über den heutigen Poljeböden liegenden Höhlen tragen den Namen 'Zyklonhöhle', da sie der Bevölkerung der Poljen bei tropischen Zyklonen und den sie begleitenden

<sup>7)</sup> Die etwa 50 m über dem Poljeboden von Balneario San Vicente liegende Höhle konnte ich nahezu trockenen Fußes durchqueren, während eine spätere Expedition der speleologischen Gesellschaft Havanna in der gleichen Höhle nach stärkeren Regengüssen erheblich mit Wasser zu kämpfen hatte.

Regenfluten sicheren Schutz bieten. Die Höhle, die 10—15 m über dem unterirdischen Lauf des Santo-Thomas-Flusses die Sierra Quemado quert, zeigt keine Anzeichen rezenter Benutzung durch den Fluß. Ihr Entdecker, Dr. *Núñez Jiménez*, fand an ihren Wänden Indianerzeichnungen möglicherweise vorcolumbianischen Alters, ein Zeichen dafür, daß auch der Vorbevölkerung eine Durchflutungsgefahr nicht bekannt war<sup>8)</sup>.

Dagegen finden sich in vielen, heute noch zeitweilig als ‚sumidero‘ (Ponor) benutzten Fußhöhlen zwischen den Stalaktiten und zapfenförmigen Deckenkarren (siehe unten) subrezente Höhlenlehmablagerungen in 3—4 m Höhe über dem Höhlenboden.

Die Wasseranstiege dürften also selbst nach sehr heftigen Regengüssen nur wenige Meter betragen<sup>9)</sup>. Verbunden sind die Höhlensysteme untereinander durch mehr oder weniger senkrechte Schächte. Ebenso führen, bei nicht zu tiefer Lage der Höhle, Jama-ähnliche Schächte an die Karstoberfläche bzw. in die cockpits — alles Zeichen einer ausgereiften Karsthydrographie.

#### e) Das Karrenphänomen in der Sierra de los Organos

In den Karsthöhlen der Sierra de los Organos spielen eine besondere Rolle die Deckenkarren, auf die ich bereits in einer früheren Veröffentlichung hinweisen konnte. Sie sind geradezu kennzeichnend, angefangen von Fließmarken (scallops, vgl. Bild 4) über eine an Rillen- oder Mäanderkarren erinnernde Ziselierung der Decke (Bild 5) sowie der oberen Wandteile, zapfenförmige Deckenkarren (Bild 6) bis zu regelrechten, von der Decke bis zum Boden durchlaufenden Karrensäulen, die keineswegs mit Stalaktitensäulen zu verwechseln sind (Bild 7). Da Deckenkarren in diesem Ausmaß in der Literatur nirgends erwähnt werden<sup>10)</sup>, verdient das Phänomen eine besondere Beachtung. Es weist auf eine beträchtliche Korrosionsarbeit des einst, bzw. gelegentlich noch heute die Höhlen durchströmen-

den Wassers. Im Bereich der Deckenkarren treten Stalaktiten zurück und umgekehrt, obgleich sich beide nicht ausschließen. Im letzteren Fall sind die Stalaktiten offensichtlich jüngere Gebilde, da sie vielfach an Deckenkarren ansetzen.

An der Oberfläche des Kegelkarstes ist das Karrenphänomen — meist freilich verborgen unter einer ziemlich dichten Urwaldvegetation — großartig entwickelt. Die senkrechten Wände sind oft in brett- oder pilasterähnliche Pfeiler aufgelöst mit sehr tiefen kluftartigen Kerben dazwischen; die Wände der Pfeiler selbst von tiefen Karrenrillen kanneliert. Abgestützte Blöcke zeigen jung gebildete Karrenrillen, die sich mit den alten, noch erkennbaren Karrenrillen kreuzen, und auf wagerechten Flächen schön ausgebildete Näpfchenkarren (Bild 8). Die als Ganzes halbkugelig zugerundete Oberfläche der Karstkegel besteht aus einem Wirrwarr überaus scharfkantiger Spitz- oder Pyramidenkarren und Karrenrate.

Nicht minder gut ausgebildete Karren zeigen auch die niedrig gelegenen Karrenfelder — etwa zwischen dem Ostende der Sierra Ancón und der Mogote La Mina oder der Lagune de piedra (Bild 9). Die aus der Roterdebedeckung aufragenden mehr oder minder großen Karrensteine weisen mitunter äußerst bizarre Formen auf. Nur die unreinen und dünnplattigen Kalke der Jagua-Schichten lassen wohl Verkarstungserscheinungen, aber keine scharfkantigen Karren erkennen, ebenso wie in ihnen auch das typische Kegelkarstrelief fehlt, völlig in Übereinstimmung mit den von *Wissmann* und mir gemachten Beobachtungen über die Rolle der Gesteinsverschiedenheit im tropischen Karst.

#### f) Das Verhältnis von Karstkorrosion und fluviatiler Abtragung.

Das Verhältnis von Karstkorrosion in den Kalk-Sierren und normaler fluviatiler Erosion im Schiefergelände fällt im Gesamteffekt zu Gunsten der letzteren aus. Denn die in der Scheitelregion

<sup>8)</sup> Diese Zeichnungen, die ich unter der Führung von Dr. *Núñez Jiménez* besichtigen konnte, liegen dicht über dem mit Höhlenlehm und Sinterbildungen bedeckten Boden der Höhle. Dr. *Núñez Jiménez* sei an dieser Stelle für seine freundschaftliche kenntnisreiche Mitarbeit herzlichst gedankt.

<sup>9)</sup> Diese Erkenntnisse dürfen allerdings nicht ohne weiteres für alle tropischen Karstgebiete verallgemeinert werden. Der Karst der Sierra de los Organos besitzt verhältnismäßig geringfügige Ausdehnung.

<sup>10)</sup> Das umfassende Werk von C. H. D. *Cullingford* zeigt zwar auf Tafel IIb, IIa und XLVIIa sehr schöne Deckenkarren verschiedener Typen, doch finden sie entweder keine oder ungenügende Erklärung unter Hinweis auf J. H. *Bretz* (1942).

Bild 4: Fließmarken (scallops) an der Wand der Cueva del Indio, San Vicente.

Bild 5: Deckenkarren (roof sponge work) in der Cueva del Indio, San Vicente.

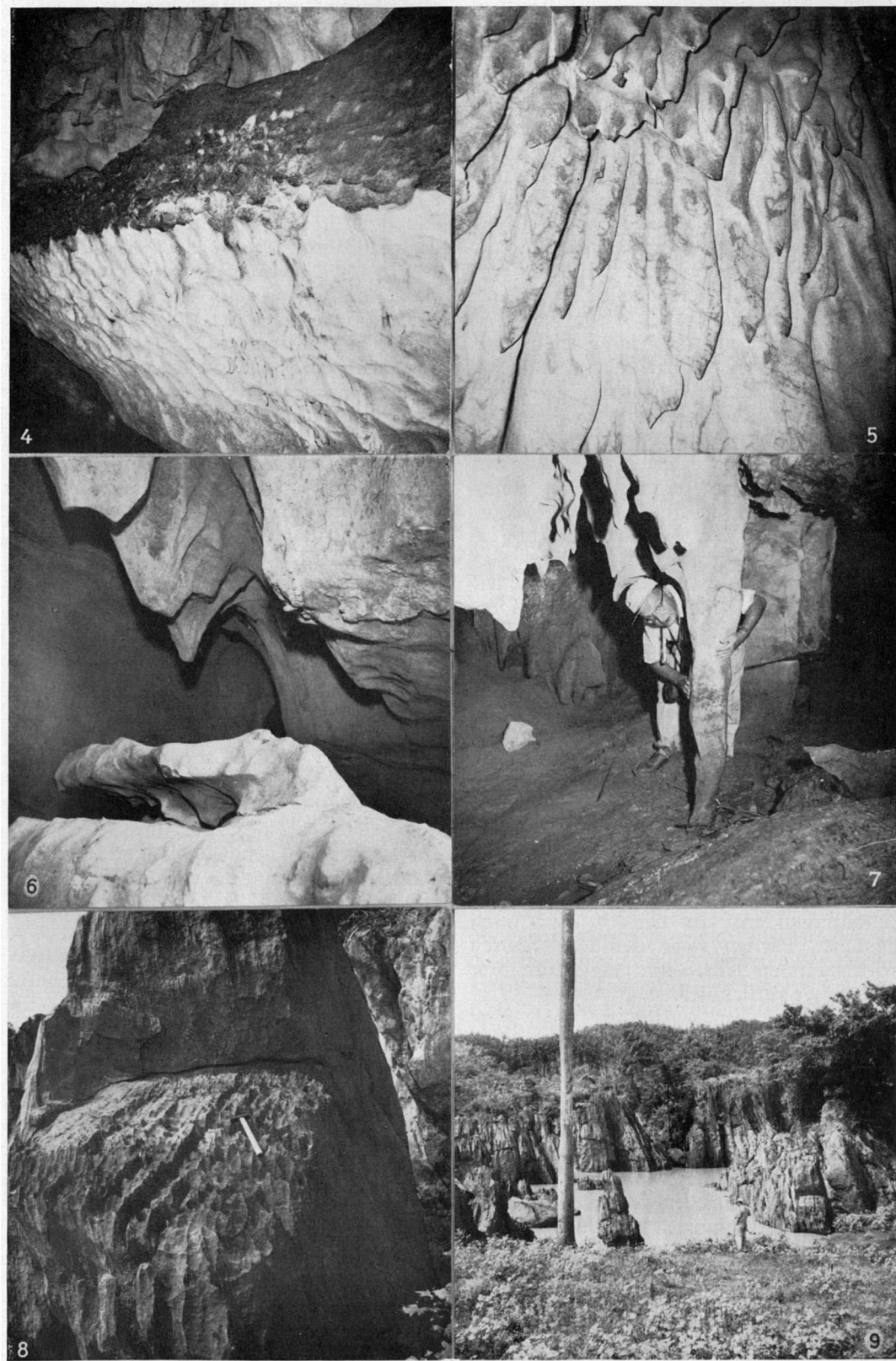
Bild 6: Decken- über Bodenkarren der Ruiz Señor-Höhle.

Bild 7: Karrensäule in der Ruiz Señor-Höhle (kein Stalaktit!).

Bild 8: Näpfchen- und Rillenkarren bei Laguna de piedra.

Bild 9: Karrenbildung bei der Doline Laguna de piedra in dem Randpolje von Viñales.





der Aufwölbung liegenden Schiefer sind allgemein unter das Kuppenniveau der Sierren erniedrigt worden. Örtlich eilt jedoch der Korrosionsprozeß der fluvialen Erosion voraus. So bilden in dem Kalkschieferkomplex die Kalke einerseits die höchsten Erhebungen, andererseits aber auch ausgesprochene Tiefenzonen. Dies trifft nicht nur allgemein für die Randpoljen bzw. Karstrandebenen zu, sondern auch für die in die Schiefer eingelagerten bzw. als kleinere Schollen in sie eingesenkten Kalke zu. In der nördlichen Schieferzone ist eine im Streichen der Schichten verlaufende Zone von talartigen Senken an Kalke gebunden. Das beckenartige Cayo San Felipe im Schieferhügelland südlich der Sierra del Inferno ist gleichfalls durch das Auftreten von Kalk bedingt. Schließlich bilden die niedrig gelegenen Karrenfelder im Zuge der nördlichen Kalkzone zwischen der Sierra Ancón und der Mogote La Mina eine ausgesprochene Tiefenzone zwischen dem beiderseitigen Schiefergelände. In ihrem Bereich hat die Karstkorrosion zu einer völligen Einebnung der Kalke und damit zu einer breiten Lücke in der morphologisch sonst besonders markant ausgebildeten Nordkette geführt. Die Ursache liegt wohl in der Tatsache, daß die Kalke hier besonders stark von tektonischen Störungen betroffen waren und seltenweise bis auf wenige 100 m ausdünnen. Die Sierren dagegen sind dank der großen Mächtigkeit bzw. Breitenausdehnung der Kalke selektiv herauspräparierte „Härtlinge“, die durch Korrosion zwar regelrecht „durchlöchert“ sind, in der Hauptsache aber von der Seite her, d. h. von den Karstrandebenen aus durch „Korrosionsunterschneidung“ aufgezehrt werden. Verursacht durch den Wassertau des angrenzenden Schiefergeländes liegt hier die Zone der stärksten Korrosionswirkung, während die darüber aufragenden, von Sickerwasser rasch durchflossenen Partien zwar deutliche Spuren einer fortwährenden Korrosion zeigen, in ihrer Zerstörung aber zurückbleiben.

### 3. Lösungsvorgänge im tropischen Karst (H. Lehmann u. W. Lötschert)

Die Formenanalyse weist also allgemein auf eine intensive aktive Karstkorrosion. Über ihr quantitatives Ausmaß im Vergleich zur Karstkorrosion in den gemäßigten Breiten und ihre Ursachen lagen bisher aus den Tropen noch keine einschlägigen Untersuchungen vor. Die von uns vorgenommene chemische Analyse des an den Karren ab rinnenden Regenwassers, sowie den Karst durchdringenden Sickerwassers konnte nunmehr den Nachweis erbringen, daß die starke Korrosionswirkung in der Hauptsache auf einen hohen Gehalt des Wassers an aggressiver Kohlen-

säure zurückgeht. Dabei handelt es sich offensichtlich um Atmungskohlensäure der höheren Vegetation und der Mikroorganismen, die bei der gesteigerten Atmung infolge der hohen Temperaturen vom Wasser erst in der Rizosphäre bzw. an der Oberfläche der Kalke aufgenommen wird. Während das frei aufgefangene Regenwasser (bei einer Temperatur von 22°) mit großer Konstanz einen Gehalt von nur 2,5 mg—3,5 mg CO<sub>2</sub> im Liter aufwies, und das aus dem Laubdach der Baumkronen (*CECROPIA PELTATA* und *FICUS SPEC.*) aufgefangene Träufelwasser zwischen 3 u. 4 mg CO<sub>2</sub> im Liter enthielt, konnte in dem in Karren ab rinnenden Wasser und im Sickerwasser bis zu 21 mg CO<sub>2</sub> nachgewiesen werden. Die Analysen wurden während und unmittelbar nach tropischen Regengüssen an Ort und Stelle durchgeführt und zwar an einer fast senkrechten, von tiefen Karrenrillen und Kluftkarren gefurchten Wand unmittelbar neben dem Austritt des Höhlenflusses von San Vicente sowie in den benachbarten Höhlen. (Cueva del Indio).

Der Lauf bzw. der Sickerweg des Wassers betrug in den meisten Fällen kaum mehr als 10 m. Auf diesem kurzen Weg hatte das Wasser in der Regel bereits 90—150 mg CaCO<sub>3</sub> pro Liter aufgenommen, was etwa 9—15 französischen Härtegraden entspricht. Ein Teil der nachgewiesenen Kohlensäure wird benötigt, um das Bestehen von Bicarbonaten in der Lösung zu ermöglichen, der Überschuß aber ist als sogenannte „aggressive Kohlensäure“ in der Lage, noch weitere Mengen Kalk zu lösen<sup>11)</sup>! Bei unseren Messungen erwies sich der Betrag der freien CO<sub>2</sub> stets als beträchtlich größer, als der zur Aufrechterhaltung des chemischen Gleichgewichts erforderliche Betrag<sup>12)</sup>. Das ab rinnende und einsickernde Wasser ist also in hohem Maße aggressiv.

Auch der Höhlenfluß San Vicente, sowie die sich nach Regen vor den Flußhöhlen bildenden Lachen wiesen einen ungewöhnlich hohen Betrag an aggressiver CO<sub>2</sub> bei 100—150 mg

<sup>11)</sup> Der Betrag der freien Kohlensäure, die nötig ist, um das chemische Gleichgewicht aufrecht zu erhalten, errechnet sich aus der bekannten Formel:  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Zur Feststellung der aggressiven Kohlensäure ist er vom Gesamtbetrag der gemessenen CO<sub>2</sub> abzuziehen.

<sup>12)</sup> Der quantitative Nachweis von CaCO<sub>3</sub> erfolgte durch Titrieren des mit zwei Tropfen 0,1%iger Methylorange versetzten Wassers mit 1/10n HCl bis zum Umschlag von Gelb und Rosa; die Bestimmung der freien CO<sub>2</sub> durch Titrieren des mit einer genormten Menge Phenolphthalein-Lösung versetzten Wassers mit n/22 Natronlauge bis zur 5 Minuten anhaltenden eben erkennbaren Rotfärbung. Vgl. H. Oertli (1953). — Herrn Oertli sei an dieser Stelle der Dank dafür ausgesprochen, daß er uns seine in Jugoslawien gemachten Erfahrungen zur Verfügung stellte.



CaCO<sub>3</sub> im Liter auf. Daraus erklärt sich hinreichend die (u. a. in den Deckenkarren zum Ausdrück kommende) starke chemische Wirkung der Höhlenflüsse, sowie das für die „Unterschneidungskorrosion“ weitgehend mitverantwortlichen stagnierenden Wassers am Fuß der Steilwände. (Vgl. hierzu Abbildung 2 bei *Lehmann* 1954).

*Chemische Analyse des Karstwassers bei San Vicente  
(Sierra de los Organos):*

Art des Wasserweges:	Gehalt an CaCO <sub>3</sub> pro Liter	Gehalt an CO <sub>2</sub> pro Liter
1. Frei aufgefangenes Regenwasser, 22° C . . . . .	—	2,5 mg
2. Trüffelwasser aus Laubdach v. <i>Ficus</i> sp. . . . .	—	4 mg
3. Trüffelwasser aus Laubdach v. <i>Ficus</i> sp. und <i>Cecropia peltata</i> . . . . .	—	3 mg
4. Tropfwasser aus <i>Anthurium venosum</i> Polster auf überhängendem Karren . . . . .	100 mg	11—12 mg
5. Tropfwasser von moosbewachsenen Außenstallakten, 3 Stunden nach Aufhören des Regens sehr langsam abtropfend . . . . .	75 mg	7 mg
6. An teilweise mit Moos- und <i>Selaginella</i> -Polstern bewachsenen Karren ab rinnendes Wasser . . . . .	100—115 mg	15—16 mg
7. An Karren mit Moospolster tropfenweise ab rinnendes Wasser . . . . .	135 mg	21 mg
8. An vegetationslosen Karren ab rinnendes Wasser nach 10 m Weg . . . . .	90 mg	7,5 mg
9. Von einer vorspringenden, oben mit <i>Ficus</i> , <i>Bombax</i> , <i>Gaussia</i> , <i>Rhipsalis</i> , <i>Vanille</i> , <i>Clusea rosea</i> und <i>Polypodium aureum</i> bewachsenen etwa 8 m hohen Karrenrippe abtropfend . . . . .	75—97,5— 100 mg	6,5—8 mg
10. Sickerwasser in offener Kluft, Weg mehrere Meter . . . . .	97,5 mg	8,5 mg
11. In Außenzone einer Höhle abtropfendes Wasser, etwa 4 m Weg durch das Gestein . . . . .	150 mg	13 mg
12. 10 m vom Eingang der Cueva del Indio rasch abtropfendes Wasser (überlagernder Kalk, etwa 10 m mächtig) . . . . .	152 mg	13 mg
13. Zweite Sickerstelle daneben . . . . .	137 mg	9 mg
14. Am Eingang der Cueva del Indio sehr rasch abtropfendes Wasser . . . . .	157 mg	15,5 mg
15. Am Fuß der Steilwand stagnierendes Wasser, von der vorangegangenen Regennacht stammend, etwas getrübt . . . . .	90—105 mg	7,5—12,5 mg

16. Durch Flußtrübe hell schokoladenbraun gefärbtes Wasser des Rio San Vicente nach unterirdischem Lauf (11 Messungen zu verschiedenen Zeiten) . . . . . 140—150 mg 16,5—20 mg

Die von uns festgestellten CaCO<sub>3</sub> Mengen stimmen der Größenordnung nach mit den von *H. Oertli* (1953) in Innerkrain gefundenen Maximalwerten des Sickerwassers und des Höhlenflußwassers überein. Das 150 und 220 mg CaCO<sub>3</sub> enthaltende Sickerwasser in der Höhle von Postonja (Adelsberger Grotte) hatte allerdings vorher 130 m und nicht nur 10 m Gestein passiert. Für das an Karren ab rinnende Wasser sind keine so hohen Werte bekannt. *Boegli* (1951) fand in der Schweiz Werte von maximal 27 mg CaCO<sub>3</sub> für das versickernde Wasser in Humusfreien Karren, jedoch bei Karren mit Humuspolster 85 mg CaCO<sub>3</sub>. Also auch hier (in der Schweiz) zeigte sich das Wasser nach Passieren einer Schicht von organischer Substanz wesentlich härter, was auf eine Anreicherung von CO<sub>2</sub> schließen läßt, während Humussäuren aus chemischen Gründen wohl weniger in Betracht kommen. Die von *Boegli* gemessenen Werte liegen jedoch durchschnittlich erheblich unter den von uns gefundenen.

Direkte Messungen von CO<sub>2</sub>, die zum Vergleich herangezogen werden könnten, liegen nur in geringer Zahl vor. *Kirle*<sup>1)</sup> fand bei der Untersuchung eines Höhlenbaches in der Steiermark, daß das freie CO<sub>2</sub> zwischen 4,4 und zwischen 22,0 mg/l an einer anderen Stelle zwischen 2,2 und 15,4 mg/l schwankte<sup>13)</sup>. Systematische Messungen zur Ermittlung des Einflusses der Mikroorganismen und der Vegetation auf Anreicherung des Regenwassers mit CO<sub>2</sub> sind meines Wissens noch nicht vorgenommen worden. Im übrigen beschränken sich die Arbeiten über die Löslichkeit — nicht Lösungsgeschwindigkeit! — von Kalken auf Laboratoriumsversuche, die nicht ohne weiteres auf die in der Natur gegebenen Verhältnisse anwendbar sind. Auch *John P. Miller* (1952) warnt in seiner verdienstvollen Arbeit ausdrücklich vor einer solchen Übertragung. Nach ihm vermag das Regenwasser bei 25° unter einem CO<sub>2</sub> Druck von (3,5 × 10<sup>-4</sup> bars) 44 mg CaCO<sub>3</sub> zu lösen. *J. E. Williams* ermittelte bei 0° fast den doppelten Wert, nämlich 81 mg CaCO<sub>3</sub>. Unsere Untersuchungen zeigen aber, wie falsch es wäre, auf Grund solcher theoretischer Überlegungen darauf zu schließen, daß der Verkarstungsprozeß in den subpolaren Gebieten wesentlich rascher verlief, als in den Tropen.

<sup>13)</sup> Zitiert bei *Oertli* (1953).

Vielmehr ist das Umgekehrte der Fall. Bereits O. Lehmann (1932) hat darauf hingewiesen, daß es keineswegs auf die theoretische Löslichkeit ankommt, die mit steigendem  $\text{CO}_2$ -Druck und fallender Temperatur wächst, sondern auf die Lösungsgeschwindigkeit. Praktisch ist nämlich das Karstwasser nur in Grenzfällen (bei Verdunstung oder bei plötzlicher Druckabnahme) mit  $\text{CaCO}_3$  gesättigt. In der Regel ist noch ein Überschuß von Kohlensäure vorhanden, auf den das Fortschreiten des Verkarstungsprozesses zurückgeht.

Der sekundären Anreicherung des Regenwassers an  $\text{CO}_2$  — andere Säuren spielen wohl eine wesentlich geringere Rolle — kommt damit eine entscheidende Bedeutung zu. Es ist das in den Tropen selbst auf scheinbar völlig nacktem Kalkstein üppig wuchernde organische Leben, das als  $\text{CO}_2$ -Produzent die Intensität des Karstprozesses in diesen Breiten bedingt. Dazu tritt die Tatsache, daß der Prozeß in den Tropen nicht durch Eiszeiten unterbrochen bzw. verlangsamt worden ist, vielmehr das heutige Klima mit unwesentlichen Schwankungen seit dem Beginn des Verkarstungsprozesses (Obermiocän) geherrscht hat.\*)

*Studien über die Vegetationsverhältnisse  
der Sierra de los Organos  
(W. Lötschert)  
(Vergl. hierzu Abb. 6)*

Wie wir sahen, geht der hohe  $\text{CO}_2$ -Gehalt des korrosionsbewirkenden Sickerwassers ohne Zweifel auf die bei den erhöhten Temperaturen gesteigerte Atmung der Mikroorganismen, der endolithischen Kalkflechten (*VERRUCARIA*-Arten) und besonders der höheren Vegetation zurück. Diese stellt eine durch viele xerophytische Merkmale ausgezeichnete Urwaldformation besonderer Art dar. Sie wird, abgesehen von den Besiedlern der durch hohe Luftfeuchtigkeit ausgezeichneten schattigen Steilwandpartien, vorwiegend aus xerophilen Kalkpflanzen aufgebaut und als Mogoten-Vegetation bezeichnet. (Bild 10—12). Da sich auf den Mogoten Trockenheit und Feuchtigkeit in schroffem Wechsel ablösen, weist die Mogoten-Vegetation eine Reihe

von Anpassungen an die extremen Standortbedingungen auf. Sie bestehen in der Ausbildung sukkulenter, flaschenförmiger Stämme (*BOMBAX EMARGINATUM*, *GAUSSIA PRINCEPS*), der Entwicklung eines reich verzweigten langen Wurzelsystems (*THRINAX MICROCARPA*), dem Abwerfen der Blätter zu Beginn der Trockenzeit (*BURSERA SHAFERI*, *PLUMERIA OBTUSA*, *BOMBAX EMARGINATUM*), der Entwicklung hoher Trockenresidenz (*TILLANDSIA FASCICULATA*) sowie der Ausbildung von Wasserspeichergeweben (*AGAVE TUBULATA*, *LEPTOCEREUS PROSTRATUS*, *RHIPSALIS CASSUTHA*). Neben der Wasserversorgung erfordern Keimung und Entwicklung auf den schroffen, korrodierten, von Karrenwannen bedeckten Felsen besondere Anpassungen (Vgl. H. Marie-Victorin u. H. Leon 1942/44).

Im allgemeinen zeigt die Mogoten-Vegetation eine charakteristische Vertikalgliederung. Die für *BOMBAX* angeführten Anpassungen des Blattabwerfens und der Wasserspeicherung machen dem Baum eine Besiedlung der unzugänglichsten Partien meist an den Steilabstürzen unmittelbar unter den gerundeten Kuppen möglich, während auf den Mogotengipfeln die Rutacee *SPATHELIA BRITTONII* die Physiognomie beherrscht. An den Fußhöhlen der Mogoten hängen *PHILODENDRON SCANDENS*, *RHIPSALIS*- und *LEPTOCEREUS*-Arten über die Stalaktiten-Vorhänge hinab, während zwischen dem *BOMBAX*-Gürtel und der untersten Zone *GAUSSIA PRINCEPS* und *THRINAX MICROCARPA* eingeschaltet sind. *AGAVE TUBULATA*, *ANTHURUM VENOSUM*, *PHILODENDRON LACERUM* und *HOHENBERGIA PENDULIFLORA* finden sich über die ganze Steilwand an vorwiegend glatten kluftfreien Stellen.

Wichtig für die Mogoten von Pinar del Rio ist vor allem die Artenkombination *SPATHELIA BRITTONII*, *BOMBAX EMARGINATUM* und *GAUSSIA PRINCEPS*, von denen die letztere als Endemit nur in der Sierra de los Organos vertreten ist und schon auf den Mogoten von Matanzas fehlt. Darüber hinaus beherbergt die Mogoten-Vegetation, die in ihren ökologischen Anpassungen mit dem laubabwerfenden Trockenwald von El Salvador (Lötschert 1956) vieles gemeinsam hat, eine große Anzahl von Endemiten, deren Anteil unter den 6000 Blütenpflanzen Cubas 60 % beträgt (Jamaica 50 %, Puerto Rico 20 %, H. Alain 1953). Zu den zahlreichen Endemiten des Gebietes der Sierra de los Organos, deren Entstehen in den wechselhaften Untergrundverhältnissen (Serpentin, Limonit, Kalkstein), dem Mogoten-Klima mit seinen schroffen Inso-lations- und Feuchtigkeitswechseln und der

\*) Nach Abschluß dieses Berichtes ging uns eine Darstellung über den Chemsismus der Lösungsprozesse im Karst aus der Feder von A. Boegli zu (enthalten in: Report of the Commission on Karst phenomena, XVIII Intern. Geogr. Congress Rio de Janeiro 1956) wonach die durch die Wärme bedingte erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit für den Karstprozeß in den Tropen eine meist unterschätzte Rolle spielt. Die Lösungsgeschwindigkeit soll dadurch etwa den vierfachen Betrag derjenigen der alpinen und arktischen Gebiete erreichen.



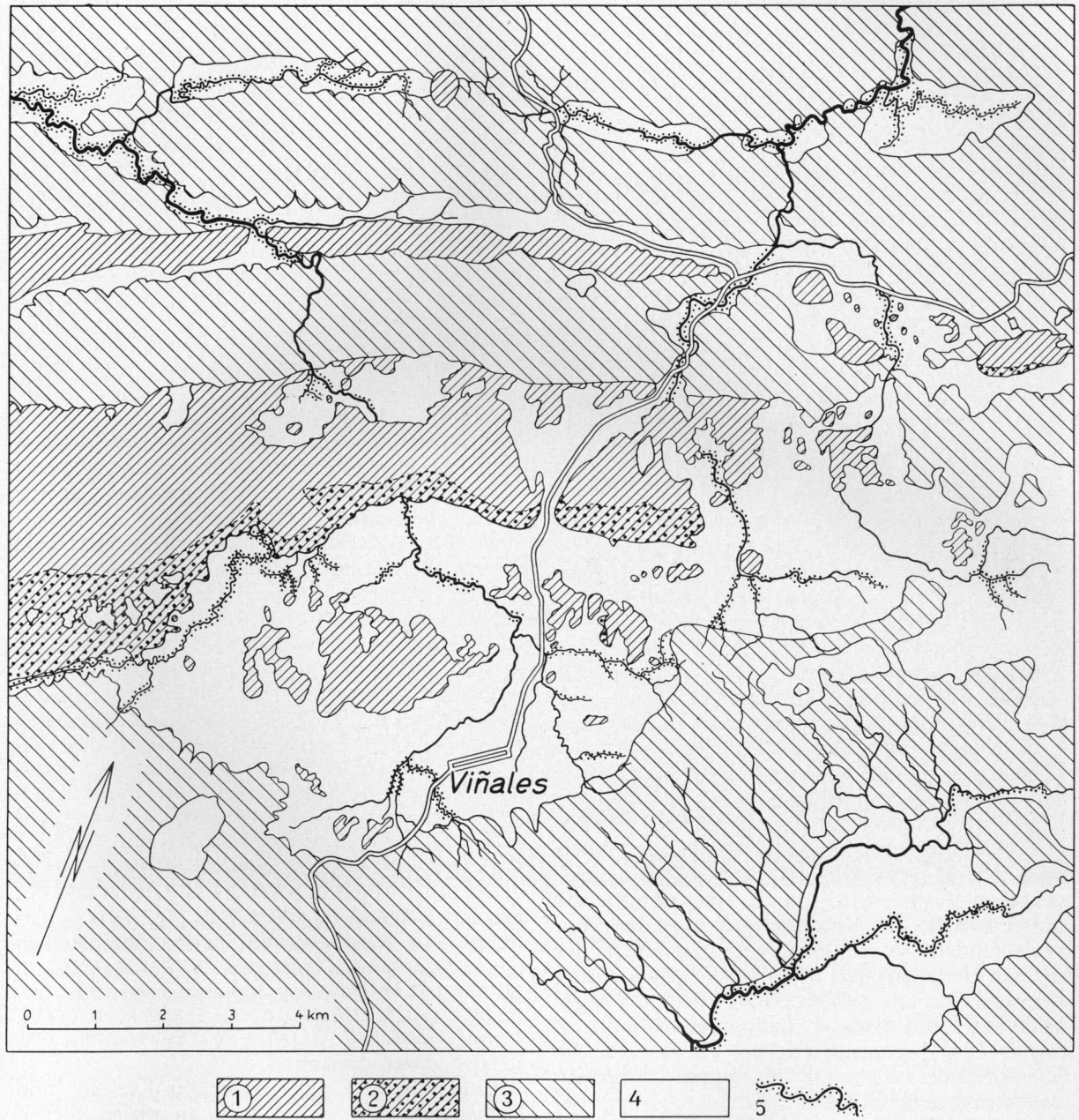


Abb. 6: Vegetationskarte des zentralen Teiles der Sierra de los Organos. (Entw. W. Lötschert)

- 1 Xerophytische Mogotenvegetation (mit *BOMBAX EMARGINATUM*, *SPATHELIA BRITTONII* und *GAUSSIA PRINCEPS*)
- 2 weniger xerophytische Mogotenvegetation wie 1) doch mit *FICUS SSP.*
- 3 Kiefern-Eichenwald (mit *QUERCUS VIRGINIANA*, *PINUS TROPICALIS*, *PINUS CARRIBAEA* und Malatomataceen-Strauchschicht)
- 4 Kulturland
- 5 Bachbegleitender Eugenia-Jambos-Wald

isolierten Lage Cubas seine Erklärung findet, gehören *MARCGRAVIA CALCICOLA*, *PORTLANDIA PENDULA*, *ERYTHRINA CUBENSIS*, *GESNERIA CELSOIDES*, *GESNERIA RUPICOLA* und der berühmte Palmfarn *MICROCOCOS CALOCOMA*, der auch auf den Sandsteinen der Cayetano-Formation in den Eichenwäldern von Pinar del Rio vorkommt<sup>14)</sup>.

Die Mitwirkung der xerophytischen Mogoten-Vegetation bei der Morphogenese des tropischen Kegelkarstes besteht neben der CO<sub>2</sub>-Produktion auf mechanischer Einwirkung durch das Wurzelsystem, jedoch muß es unter den aus Moosen, Selaginellen und Farnen bestehenden Krautpolstern auch zur Säureabscheidung kommen, wie die weiche Beschaffenheit des substratbildenden ehemaligen Kalksteines beweist. Eine Ansammlung von Humus findet allerdings bei der Geschwindigkeit der chemischen Austauschreaktionen und der Reinheit der unterlagernden Kalke nicht statt. Die anfallende organische Substanz wird vielmehr sofort in die Umsetzungen einbezogen und vermag die Acidität des Substrates kaum zu beeinflussen. Das in den Karrenwannen (vgl. H. Lehmann 1954, Abb. 11) angetroffene, durch seinen Humusreichtum schwarz gefärbte Material sowie die in den Jamas und auf Steilabsätzen vorhandene terra rossa-ähnliche Erde wies pH-Werte von 7,7–9,2 auf (Ermittlung mit Ionometer nach Lautenschläger, Kalomel-Chinhydronelektrode). Die Reaktion des nach Regenfällen in den Kleinkarren angetroffenen Wassers betrug pH = 7,2–7,5 (Bestimmung mit Lyphan- und Merck's Spezial-Indikatorpapier).

Die Bindung der Mogoten-Vegetation an das alkalische Substrat der spätjurassischen bis kreatazischen Kalke wird durch eine unmittelbar hinter Rancho San Vicente quer über den Berg verlaufenden Vegetationsgrenze zwischen der dichten urwaldartigen Mogoten-Vegetation und dem lockeren aus *QUERCUS VIRGINIANA* gebildeten Eichenwald (oak-savanna-woodland, Seifriz 1943) demonstriert, der ebenso wie die Kiefernwälder stets auf die sauren Cayetano-Sandsteine und -Schiefer (pH = 5,0–5,5) beschränkt ist. Der Eichenwald zeigt alle Übergänge von einer steppenartig trockenen, nur auf sterilen Sandsteinböden verbreiteten Assoziation von *QUERCUS VIRGINIANA*, *BRYA EBENUS*, *HYPERICUM STYPHELOIDES* und *TABEBUIA LEPIDOPHYLLA* bis zur in Bachtälern verbreiteten Mischformation (savanna-conglomerate) mit einer großen Anzahl hygrophiler Laubbäume,

unter denen *CECROPIA PELTATA*, *DIDYMO-PANAX MOROTOTONII*, *XYLOPIA AROMATICA*, *ANDIRA INERMIS*, *GENIPA AMERICANA* und *PITHECOLOBIUM OBOVALE* die wichtigsten sind.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse in den Kiefernwäldern, die aus der endemischen *PINUS TROPICALIS* und *PINUS CARIBAEA* aufgebaut werden. (Bild 13). Sie sollen nach Seifriz auf die sauersten Stellen der Provinz beschränkt sein, finden sich jedoch nach meinen Beobachtungen auf den höheren Lagen der Cayetano-Hügel. Ihre Strauchschicht wird ähnlich wie in den aus *PINUS OOCARPA* gebildeten mesophytischen Kiefernwäldern El Salvadors aus zahlreichen Melastomaceen (*PACHYANTHUS POIRETII*, *CLIDEMIA DELICATULA*, *CLIDEMIA HIRTA*, *CONOSTEGIA XALAPENSIS*) aufgebaut. An trockenen Standorten zeigen sich im Auftreten von *BYRSONIMA CRASSIFOLIA* und *CURATELLA AMERICANA* Anklänge an die zentralamerikanischen Chaparrales (vgl. auch Lauer 1954). Sehr typisch sind ferner für den Kiefernwald die weißblühende, derbblättrige *RONDELETIA CORREIFOLIA*, die parasitische Lauracee *CASSYTHEA AMERICANA*, die acidophile genetisch südamerikanische *BEFARIA CUBENSIS* sowie die Gramineen *ANDROPOGON VIRGINIANA* und *SORGHASTRUM STIPOIDES*. Für die steil einfallenden Grabenwände kleiner Bachtäler ist eine aus den Farnen *DICRANOPTERIS FLEXUOSA*, *BLECHNUM SERRULATUM*, *ODONTOSORIA ACULEATA* sowie dem pantropischen *LYCOPODIUM CERNUUM* bestehende Vergesellschaftung bezeichnend, während in größeren Tälern die Palme *COPERNICIA PAUCIFLORA*, gelegentlich sogar *ROYSTONEA REGIA* und der Strauch *CRYSOBALANUS PELLOCARPUS* auftreten. Als Kostbarkeiten in den Sumpfstellen dieser Täler seien Xyridaceen (*XYRIS AMBIGUA*, *XYRIS GRANDICEPS*) Eriocaulaceen (*SYNGONANTHUS*, *PAEPALANTHUS*, *ERIOCAULON*), *BURMANNIA BICOLOR*, *DROSERA*- und *GENLISEA*-Arten genannt.

Eine scharfe Grenze zwischen Kiefern- und Eichenwald läßt sich jedoch an vielen Stellen nicht ziehen. Vielmehr gehen beide bei erhöhter Feuchtigkeit und damit verbundener tieferer Aufbereitung der Sandsteine und Schiefer in eine Mischformation über (savanna conglomerate), die zwischen dem von Seifriz (1943) für Cuba ausgedehnten forest einerseits und der Kiefernsteppe vermitteln (Vgl. Carr 1950). In ihrer Gesamtheit lassen sich Eichen- und Kiefernwälder als mesophytischer Kiefern-Eichen-Mischwald dem xerophytischen Mogoten-Urwald gegenüberstellen.

<sup>14)</sup> Dem derzeitigen Bearbeiter der Flora von Cuba, Herrn H. Alain, sei an dieser Stelle herzlich für seine Unterstützung bei der Bestimmung der eingesammelten Pflanzen im Herbarium des Colegio de la Salle in Vedado-Habana sowie für manche mündliche Auskunft gedankt.





Bild 10: Mogoten-Vegetation an der N-Seite der Sierra Ancón. In der Mitte Zone aus *BOMBAX EMARGINATUM*, im Hintergrund *SPATHELIA BRITTONII*.

Bild 11: Gipfel-Vegetation eines Mogoten. Zwischen der „palmenähnlichen“ *SPATHELIA BRITTONII* die Fächerpalme *THRINAX MICROCARPA*. (Sierra Ancón, Telyt 20 cm.)

Bild 12: *GAUSSIA PRINCEPS*, die Charakterpalme der Mogoten-Vegetation, vorn *THRINAX MICROCARPA*, im Hintergrund *SPATHELIA BRITTONII*.

Bild 13: Wälder aus *PINUS TROPICALIS* auf Cayetano-Sandstein bei St. Thomás. In der Mitte vorn eine *Copernicia*-Gruppe, dahinter talabwärts *ROYSTONEA REGIA*. Im Vordergrund auf beiden Seiten *Melastomataceen*-Sträucher.

Die Bilder 1, 3—9 sind von Nuñez Jimenez, die Bilder 10—13 von W. Lötschert, Bild 2 von H. Lehmann aufgenommen.

#### Literaturnachweis :

Alain, H. : El endemismo en la flora de Cuba, Mem. Soc. Cubana, Hist. Nat. 21, 187, 1953.

Boegli, A. : Probleme der Karrenbildung, Geogr. Helvetia, VI, 3, 1951.

Brown, B. and O'Connel, M. : Correlation of the jurrassic formations of Western Cuba, Bull. Geol. Soc., America 33, S. 639—664, 1922.

Bretz, J. H. : Vadose and phreatic features of limestone. Journ. of Geol. 1942.

Canet, G. : Atlas de Cuba, Cambridge, Mass. 1949.

Carr, A. F. : Outline for a classification of animal habitats in Honduras, Bull. Am. Mus. Nat. Hist. 94, 1950.

Cullingford, C. H. D. : British Caving, An introduction to Speology, London 1953.

de Golyer, E. L. : The Geology of Cuban petroleum deposits. Bull. Americ. Ass. Petrol. Geol. Z. S. 133—167, 1918.

Lauer, W. : Zentralamerika, Bericht über eine Forschungsreise, Erdkunde 8, 1954.

- Lehmann, H.: Morphologische Studien auf Java, Stuttgart 1936.
- Lehmann, H.: Der tropische Kegelkarst, Umschau für Naturw. u. Technik 1953.
- Lehmann, H.: Der tropische Kegelkarst auf den großen Antillen, in: Das Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen, Erdkunde 8/2, 1954.
- Lehmann, H.: Der tropische Kegelkarst in Westindien. Tagungsbericht Deutscher Geographentag in Essen, Wiesbaden 1955.
- Lehmann, H.: Report of the commission on Karst phenomena, XVIII Intern. geogr. congress Rio de Janeiro 1956 (Intern. Geogr. Union, New York 1956).
- Lehmann, O.: Die Hydrographie des Karstes. Leipzig und Wien 1932.
- Leon, H. y Alain, H.: Flora de Cuba, Contrib. Ocas. Unis. Hist. Nat. Colegio de la Salle, Bd. 1—3, La Habana 1946—1953.
- Lewis, J. W.: Geology of Cuba. Bull. Americ. Ass. Petrol. Geol. 16, S. 533—555, 1932.
- Lötschert, W.: Ökologische und Vegetationsstudien in El Salvador. Abh. Senkenb. Naturf. Ges. Frankfurt 1956.
- Marie-Victorin, F. et Leon, F.: Itinéraires botaniques dans l'île de Cuba. Contrib. Inst. Bot. Univ. Montreal, 41 u. 50, 1942, 1944.
- Marrero, L.: Geografia de Cuba. La Habana 1951.
- Massip, S.: Introduccion u la geografia de Cuba. La Habana 1942.
- Meyerhoff, H. A.: The texture of Karsttopography in Cuba and Puerto Rico. Journal of Geomorphology, 1938.
- Miller, J. P.: A Portion of the System Calcium Carbonate-Carbon-Dioxide Water, with geological implications. Americ. Journal of Science, Vol. 250, März 1952.
- Núñez Jimenez, A.: Geografia de Cuba. La Habana 1955.
- Oertli, H.: Karbonathärte von Karstgewässern. „Stalactite“, Schweizer Ges. für Höhlenforschung Nr. 4, 1953.
- Palmer, R. H.: Outline of the geology of Cuba. Journ. Geol. 1945, H 1, 1945.
- Schuchert, Ch.: Historical Geology of the Antillean-Caribbean Region, New York 1935.
- Seifriz, H.: The plant life of Cuba. Esol. Monogr. 13, 375, 1943.
- de la Torre, C.: Comprobation de l'existence d'un horizon jurassique dans la region occidentale de Cuba. C. R. Congr. intern. geol. Bull. XI, S. 1020—22, 1910.
- Uphof, J.: Cuba, Vegetationsbilder. 18. Reihe. Jena 1928.
- Vermunt, L. W. Z.: Geology of the province of Pinar del Rio. Cuba. Geogr. en geol. Mededeelingen, Utrecht, Phys. Geol. Reeks. 13, 1937.
- Williams, J. E.: Chemical Weathering at low Temperatures. Geogr. Rev., Vol. 39.
- Wissmann, H. v.: Der Karst der humiden heißen und sommerheißen Gebiete Ostasiens. In: Das Karstphänomen in den verschied. Klimazonen. Erdk. VIII, 2, 1954.

## DIE POLLENANALYTISCHE DATIERUNG VON JÜNGEREN VULKANAUSBRÜCHEN

Herbert Straka

Mit 6 Abbildungen

### *Dating of volcanic eruptions during recent geological periods by means of pollen analysis*

**Summary:** During the last few years pollen analysis has gained increasing importance for the dating of recent volcanic eruptions; on the other hand it has also become possible to use volcanic tuff and ash, which were spread over large areas and form horizons in peat and silt deposits of former lakes, as a means of establishing links over great distances between contemporary volcanic deposits. The absolute date of volcanic eruptions has been established more precisely in a number of cases by the radio-carbon method, and earlier datings made by pollen analysis have been confirmed by that method.

In the first section of this paper an attempt is made to illustrate the method of dating volcanic strata by means of pollen analysis using the Eifel maare as an example. Then follows a section on the absolute dating and the importance of the dating of the volcanic eruption in the Eifel mountains. In conclusion a review is given of pollen analytical dating of volcanic eruptions in other parts of the world, in particular in Iceland, Patagonia and the Cordillera regions of North America. The appended bibliography is as comprehensive as possible.

### *1. Einleitende Bemerkungen zur Pollenanalyse*

Die Pollenanalyse untersucht fossile und rezente Ablagerungen auf ihren Gehalt an Blütenstaub und Sporen von Pflanzen. Gegenüber anderen Zweigen der Paläobotanik, die fossile

Reste von Früchten, Samen, Knospen, Holz, Blättern und anderen großen Pflanzenteilen studieren, ist sie dadurch im Vorteil, daß die mikroskopisch kleinen Pollenkörner und Pflanzensporen vieler Arten von der Erzeugungsstelle aus ziemlich gleichmäßig über einen größeren Raum der Atmosphäre verbreitet werden. Sie werden bei Windstille auf der Erdoberfläche abgelagert und können, wenn sie im Frühjahr besonders reichlich auftreten, auf Pfützen und Tümpeln den bekannten „Schwefelregen“ verursachen. Hier werden sie allerdings infolge des Sauerstoffzutritts rasch zersetzt. Geraten sie aber auf der Oberfläche wachsender Moore oder auf dem Grund verlandender Seen unter Luftabschluß, so können ihre äußerst widerstandsfähigen Hüllen konserviert werden. Man findet sie dann in ihrer für die Pflanzenfamilie oder -gattung — seltener auch für die Art — charakteristischen Gestalt und Struktur selbst nach geologisch gesprochen sehr langen Zeiträumen wieder und kann bestimmen, von welcher Familie, Gattung oder Art sie stammen (vgl. hierzu Erdtman 1954, Faegri u. Iversen 1950).