

KALKKRUSTEN UND KEGELKARST

Mit 4 Abbildungen und 6 Bildern

KARL-HEINZ PFEFFER

Summary: Limestone crusts and cockpit karst

In SW Jamaica, three variants of cockpit-karst phenomena were observed in one karst area.

1. steep karst pillars, completely formed in firm white limestone,
2. steep karst pillars encrusted with external stalactites and travertine on bare rock interstices and overhangs,
3. karst hillocks and cockpits covered with weathering residues, including a limestone crust overlying decomposed limestone particles.

Typical profiles were taken and samples of limestone crust and decomposed limestone particles subjected to laboratory analysis. Limestone crust occurrences in humid tropical areas are described from the literature, theories of their origin discussed and types of formation investigated. The information gained by PANOS and STELCL in Cuba are examined for the Jamaican forms and the conclusion drawn that special conditions must operate in Cuba, since travertine and limestone crusts have no significant influence on forms in Jamaica. They are a humid-tropic variant of cockpit karst forms climatically and petrographically determined.

Während einer von H. LEHMANN angeregten und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft großzügig unterstützten Forschungsreise nach Jamaica im Frühjahr 1967 untersuchte ich die Genese des Karstgebietes zwischen der Black River-Ebene und Alligator Pond im SW der Insel. In diesem Gebiet, das von den über 99% CaCO_3 enthaltenden Oligo-Miozänen bis Unter-Miozänen Kalken der Newport Serie des White Limestone (H. R. VERSEY, 1962, S. 36, 37) aufgebaut wird, setzte nach der Festlandwerdung im Mittelmiozän die Verkarstung ein. Im Pliozän verharnte die Obergrenze des phreatischen Bereichs für einen längeren Zeitraum in gleicher Höhenlage, so daß sich ein Reifestadium des Kegelkarstes (Zusammenwachsen der Cockpits, Entstehung von Korrosionsebenen mit vereinzelt Karsttürmen) entwickelte. Ende Pliozän, vermutlich sogar erst im Quartär, setzten Hebungen ein, das Gebiet zerbrach, und die primären Karstformen wurden in verschiedene Höhenlagen verstellt, und eine neue Phase der Verkarstung setzte ein (K.-H. PFEFFER, 1967).

In diesem Gebiet, dessen Morphogenese kurz skizziert wurde und das durch den Abbau von Bauxit, dem dadurch nötigen Bau von Transportbahnen und Straßen sehr gut aufgeschlossen war, beobachtete ich Kalkkrusten und in Nähe der Küste Karsttürme, die auf ihren fast senkrechten Wänden völlig mit Sinter überkrustet waren. Sinterabscheidungen gehören zu dem bekannten, in den Kegelkarstgebieten auftretenden Phänomen der „Außenstalaktiten“, über das

H. LEHMANN als erster berichtet hat. Kalkkrusten*), in Trockengebieten ein bekanntes Phänomen, dagegen waren zu diesem Zeitpunkt aus wechselfeucht-tropischen Gebieten nur von R. WEYL (1953) aus Karstgebieten Hispaniolas (ohne Kegelkarst) und von W. MONROE (1963, 1964 a, 1964 b) aus den Kegelkarstgebieten Puerto Ricos – mit Hinweis auf von L. J. COLE (1910) im nördlichen Yucatan erwähnte Vorkommen – beschrieben worden. 1968 weisen P. BIROT & J. CORBEL & R. MUXART in wenigen Sätzen auf Kalkkrusten in dem von mir 1967 untersuchten Gebiet der Santa Cruz Mountains auf Jamaica hin. Im gleichen Jahr berichten V. PANOS & O. STELCL (1968 a) von auf Cuba weitverbreiteten „calcareous weathering crusts“.

H. LEHMANN (1936, 1953 a, 1953 b, 1954, 1960 a, 1960 b), H. v. WISSMANN (1954), H. LEHMANN & K. KRÖMMELBEIN & W. LÖTSCHERT (1956), A. GERSTENHAUER (1960, 1964, 1966) und D. BALAZS (1968), die Beiträge zur Genese des Kegelkarstes lieferten, hielten die Außenstalaktiten für Arabesken, als Beweise für den raschen Kalkumsatz. Kalkkrusten fanden zur Erklärung des Kegelkarstphänomens keine Berücksichtigung, da sie in den untersuchten Gebieten mit ausgeprägtem Kegelkarst nicht auftraten. Auch P. BIROT & J. CORBEL & R. MUXART (1968) wiesen dem ihnen bekannten Phänomen der Kalkkrusten für die Kegelkarstgenese keine Bedeutung zu.

Anders V. PANOS & O. STELCL (1968 a, 1968 b). Sie berichten – im Gegensatz zu den Ausführungen von H. LEHMANN (1953 a, 1953 b, 1960) und H. LEHMANN & K. KRÖMMELBEIN & W. LÖTSCHERT (1956) –, daß die Mogoten auf Cuba mit Krusten gepanzert sind. V. PANOS & O. STELCL (1968, S. 120):

“The crusts being practically impermeable, is very resisting to the further solution and protect, consequently, even the underlying limestone from the reduction or transformation” – “In addition to the crusts also the abundant, thick and recrystallized external dripstone coatings, a frequent and well known phenomenon of the soluble rock landscape in the seasonally humid tropics, play an important part of the protecting caprock in the development of all the forms built of soluble rocks”. – (S. 159): “Nevertheless it has to be point out once again, that the bare limestone surface is, due to the presence of

*) Die Diskussion beschränkt sich nur auf Kalkkrusten in wechselfeucht-tropischen Gebieten und die Beziehungen der Krusten zum Kegelkarstphänomen. Daher bleiben die u. a. von RATHJENS, v. WISSMANN und ZWITTKOVITS aus Trockengebieten beschriebenen Kalkkrusten und die spezielle Kalkverwitterung dieser Gebiete unberücksichtigt.

protecting hard crust, much more resistant to exogene agents than the rock surface buried under the permeable mantles displaying no calcareous weathering crusts at all. It could be almost said that the corrosion ceases nearly on the bare limestone surfaces and cause the development of various microforms only (rills, honeycombs a.o.). Due to this fact, the bare limestone surface preserves its morphology for a long time." – Auf A. GERSTENHAUERS Diskussionsbemerkung (1968, S. 166): „Notwendig sind die Krusten für die Ausbildung eines Kegelkarsts nicht, wie etwa die in kompakten Kreidekalken angelegten Kegelkarstgebiete Tabascos in den immerfeuchten Tropen zeigen. Aber wir haben wohl mit einer Klimavarianz der Kegelkarstformen innerhalb der Tropen zu rechnen“, erwiderten V. PANOS & O. STELCL (1968 b, S. 175): „Ad. 5): Die Hartkrusten sind für die Ausbildung des Kegelkarsts zwar nicht nötig, sind aber wichtig für die Akzentuierung seiner Formen. In der Modellierung des tropischen Karstreliefs und im Zunehmen der vertikalen relativen Höhenunterschiede zwischen den entblößten und bedeckten Teilen der korrodierten Kalkmassive spielen sie zweifelsohne eine bedeutende Rolle.“

Die Beobachtungen, die ich 1967 auf Jamaica in einem Gebiet mit Kegelkarst und Kalkkrusten machen konnte, lassen aber erkennen, daß die Schlüsse, die V. PANOS & O. STELCL aus ihren wertvollen Untersuchungen zogen, wohl doch nur für Cuba zutreffen und damit eine interessante regionale Variante des Kegelkarstphänomens darstellen.

Im Untersuchungsgebiet im SW Jamaicas gibt es Aufschlüsse, die zeigten, daß die steilen (60–90° Neigung) Karsttürme mit nackten Flanken, die Fußhöhlen, die Cockpits, die ebenen – im Raum Lititz mitunter mehrere 100 m² großen – Flächenstücke zwischen den Türmen und die mit Roterde gefüllten Karstschlotten im festen White Limestone ausgebildet

sind, ohne daß auch nur eine Spur von Außenstalaktiten und Kalkkrusten zu entdecken ist (Bild 1). In Vertiefungen auf den Kuppen und auf den ebenen Partien sind Rendzinen und Roterden auf dem Kalk entwickelt. Der Newport Limestone ist ein kryptokristalliner Kalk, nach H. R. VERSEY (1962, S. 36, 37) „moderately wellbedded and compact“, aber Dünnschliffe zeigen, daß das Gestein von zahlreichen Poren und Rissen durchsetzt ist, die stellenweise von großen Calcitkristallen aber nur zum Teil ausgefüllt sind, wobei die Größe der Kristalle zum Hohlraum hin zunimmt.

Nahe der Küste treten die Kalktürme mit Sinterüberzügen auf. Die Sinter, an Überhängen als Außenstalaktiten entwickelt, sind jünger als die steilen Karsttürme. Sinter treten nur an Überhängen, über Fußhöhlen und an sehr steilen – hier westexponierten – Felswänden auf (Bild 2). Dies deckt sich mit den bisher über die Lokalität der Außenstalaktiten beschriebenen Beobachtungen.

Die Sinter entstehen durch Entgasung des Lösungsmittels (A. GERSTENHAUER, 1966, S. 63). Das Wasser, das die auf den Kuppen vorhandene Bodenschicht durchsickert, nimmt CO₂ gemäß dem hohen CO₂ Partialdruck der Bodenluft auf und löst Kalk (rascher Ablauf der Diffusionsvorgänge und der Lösungsvorgänge durch hohe Temperaturen). An der nackten Felswand steht das Wasser im Kontakt mit der freien Atmosphäre (geringerer CO₂ Partialdruck als in der Bodenluft), nach dem HENRY-DALTONSchen Gesetz muß CO₂ aus der Lösung diffundieren und Kalk wird abgeschieden.

Die Sinter unterliegen aber auf Jamaica ebenso der Korrosion wie der anstehende Kalk. Kavernöse Karren und Rendzinen, die Pflanzen Halt gewähren in vereinzelt Vertiefungen auf dem Sinter, bezeugen dies deutlich. Am Fuße der Kuppen können auch von Überhängen abgebrochene Sinterstücke beobachtet werden.



Bild 1: Straßenanschnitt ca. 3 km nordwestlich Alligator Pond. An der steilen Kalkwand sind nur kavernöse Karren entwickelt. Krusten und Sinter fehlen völlig, auch im Bereich der fossilen Fußhöhle (rechte Bildmitte).

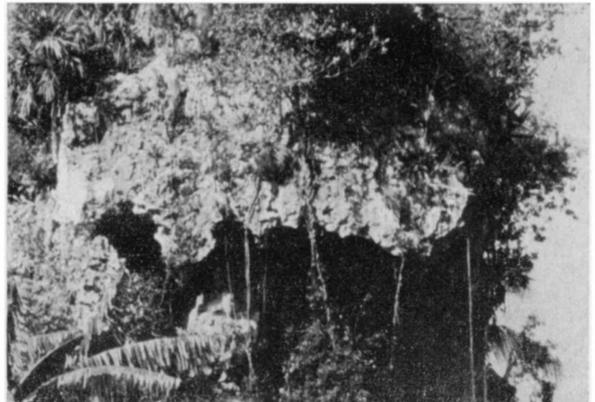


Bild 2: Sinterüberhang an einer Karstkuppe bei Plowden Hill. Die Vegetation stockt auf Rendzinen, die in Vertiefungen auf dem Sinter entwickelt sind.

Kalkkrusten konnte ich im Untersuchungsgebiet vereinzelt an der Straße von Mandeville nach Spur Tree, häufig auf der Pultscholle der Santa Cruz Mountains und im Gebiet zwischen Pepper und Nain beobachten. Sie überziehen in diesen Gebieten die hier nicht so steil ausgebildeten Karstkuppen völlig, lassen sich aber auch im Liegenden der mit bis zu 30 m mächtigen Bauxiten erfüllten Cockpits beobachten. In einigen Aufschlüssen, wie z. B. Abbildung 1 zeigt, ist zwischen Bauxit und Kalkkruste ein Eisen-Mangan-Band ausgebildet. Auch Teile der Lititz-Fläche sind mit Kalkkrusten überzogen.

Die Krusten, von nur wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern mächtig, bilden aber nur an Stellen, wo die Verwitterungsdecke bevorzugt abgespült wird, die Oberfläche. Normalerweise sind sie unter Bodenbildungen (Rendzinen und Roterden) und unter Akkumulationen von Roterden und Bauxit verborgen (Abb. 2). An den Übergängen Boden-Kruste zeigen die Krusten Anwitterungen. Dies alles ist ein deutlicher Gegensatz zu Cuba, wo die Krusten ohne Bodenbedeckung sind und "it has to be point out again they (die Krusten) were not found on the limestone surfaces coated with fluvial or residual deposits" (V. PANOS & O. STELCL, 1968, S. 156).

Die Aufschlüsse, die aufgenommen wurden (Abb. 3 und 4, Bild 3 und 4) zeigen, daß die Kalkkrusten stets über Lockermaterial ausgebildet sind. Über festem Kalk fehlen sie, wie bereits ausgeführt, völlig. Literaturstudien ergaben, daß dies für fast alle tropischen Gebiete mit Krusten gilt, sogar für Krusten der Trockengebiete in Nordafrika und Palästina (E. BLANCK, 1930, S. 352–361). R. WEYL (1953) be-

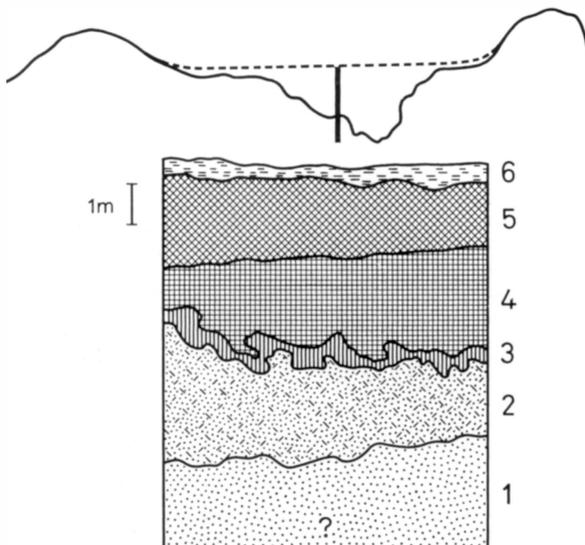


Abb. 1: Aufschluß eines Cockpits nördlich Nain (Lageskizze nicht maßstabgerecht)

1 Kalkgrus; 2 Kalkkruste; 3 Fe-Mn-Band und brauner Bauxit; 4 gelbbrauner Bauxit; 5 roter Bauxit; 6 junge Aufschwemmungen

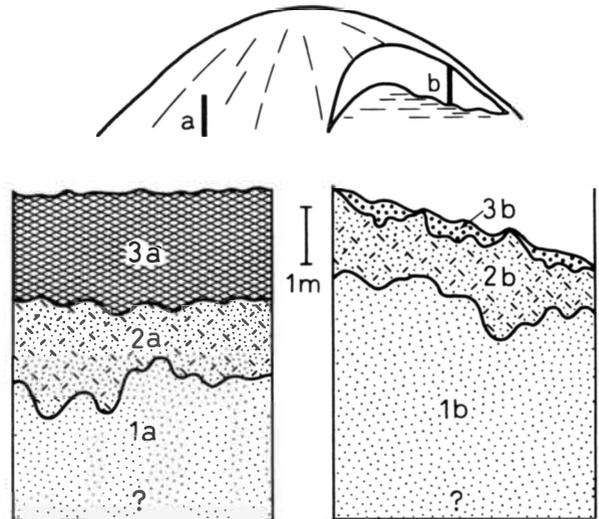


Abb. 2: Aufschluß einer Karstgruppe bei Malvern (Lageskizze nicht maßstabgerecht)

1 a Kalkgrus; 2 a Kalkkruste; 3 a Roterdeakkumulation; 1 b Kalkgrus; 2 b Kalkkruste; 3 b Rendzina

richtet von Hispaniola, daß unter Roterde „entschichteter brecciöser Kalk“ (S. 19) ansteht und „die Kalke sind in Nähe der Erdoberfläche gewöhnlich durch Lösungsumsatz entschichtet und umkristallisiert“ (S. 9). W. MONROE (1964 b, S. 108) "the interiors of these hills (Anm. Mogotes) are a rubble of solution cobbles in a matrix of terra rossa, or very finely crystalline limestone that is solution-riddled, and much of which is friable. The surface, however, is recemented into a very hard dense limestone cap that is thick on the top...". COLE über das Anstehende in Nord-Yucatan (zit. bei W. MONROE 1963, S. 6) "is a relatively soft very fine grained and powdery limestone below the surface, but at the surface is indurated". – Einzig auf Cuba scheinen andere Bedingungen zu herrschen: V. PANOS & O. STELCL (1968 a, S. 158, 159) "very thick crusts occur on intensely porous carbonates... On the contrary, compact and dense limestone... display crusts of the less thickness".

Auf Jamaica sind die Krusten (Bild 5 und 6) ein durch Calcit verkittetes Gemisch aus eckigen feinstsand- bis nußgroßen Kalkbröckchen und mehr oder minder viel Roterde. Dünnschliffe zeigen, daß die Kalkbröckchen White Limestone-Bröckchen sind, die ebenso wie der feste White Limestone von Poren und Rissen durchzogen sind. Die Bröckchen sind vielfach von großen Calcitkristallen umgeben. Die Roterdepartikel sind durch ein Netz von Carbonatkristallen verkittet. Die Kruste im Aufschluß Pepper (Bild 4) besteht aus Ton, der durch ein schwammartiges Calcitskelett verkittet ist. Sehr große Calcitkristalle – häufig Einkristalle – sind in dieser Kruste zu beobachten, außerdem sind Abscheidungen von

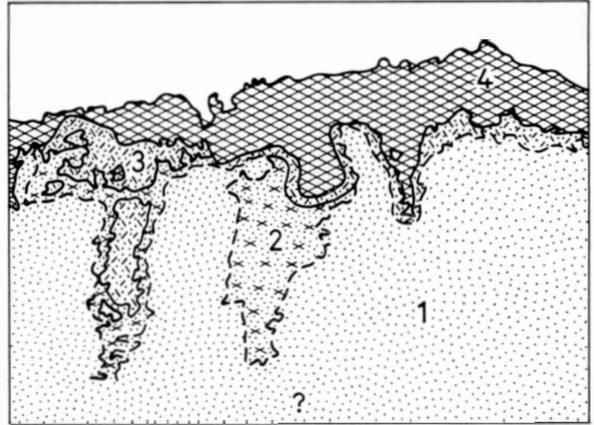
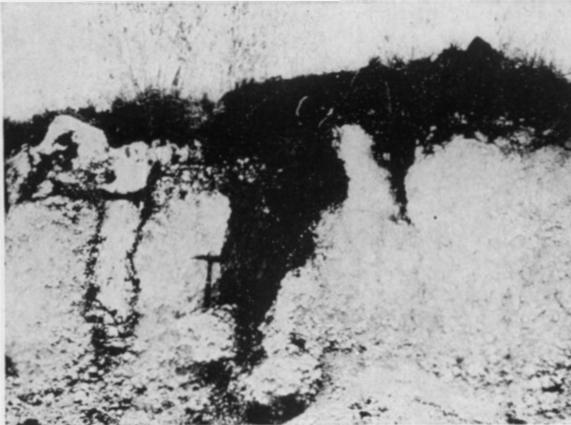


Bild und Abb. 3: Aufschluß Lititz-Korrosionsfläche
 1 Kalkgrus; 2 Kalkgrus mit Roterdeinschwemmung; 3 Kalkkruste; 4 Roterde

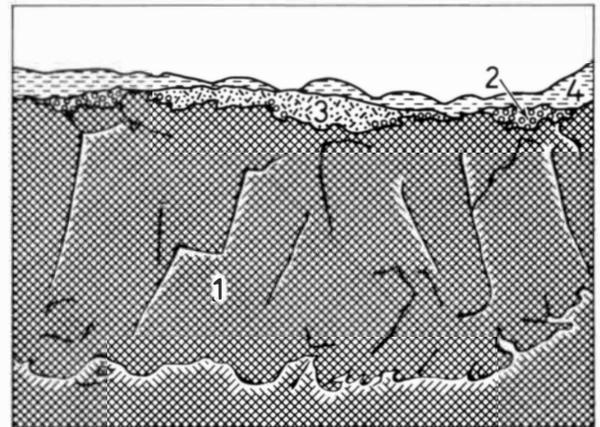
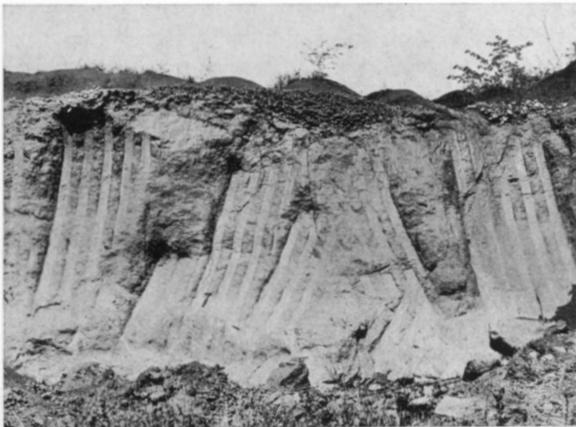


Bild und Abb. 4: Aufschluß bei Pepper NW-Wand
 1 Bauxit; 2 quartäre Kalkschotter; 3 Kalkkruste; 4 Ton



Bild 5: Stück einer Kalkkruste, durch Calcit verkittetes Gemisch aus Kalkbröckchen und geringem Anteil an Roterde
 (|——| Maßleiste = 1 cm in der Natur)



Bild 6: Stück einer Kalkkruste, durch Calcit verkittetes Gemisch aus Kalkbröckchen und großem Anteil an Roterde
 (|——| Maßleiste = 1 cm in der Natur)

Kieselsäure vereinzelt zu erkennen. Alle Krusten sind aber keineswegs völlig dicht, wie etwa die cubanischen (V. PANOS & O. STELCL, 1968 a, S. 120 "This crust being practically impermeable"). Geländebeobachtungen zeigen, daß das Wasser die Krusten passieren kann, und in Dünnschliffen sind Hohlräume und Risse in den Krusten erkennbar.

Das Lockermaterial, das unter den Krusten der Aufschlüsse vorhanden ist, zeigt regional Farbvarianten von einem blassen gelb-rot bis zu einem hellen, fast weißen Creme, wobei die rötlich gefärbten Varianten immer nahe der Erdoberfläche beobachtet wurden. Dieses Lockermaterial beschreiben P. BIROT & J. CORBEL & R. MUXART (1968, S. 365): «calcaires de resistance moyenne dont la cristallisation n'est pas achevée, d'où une mosaïque de taches farineuses». Analysen zeigen aber, daß das Lockermaterial aus eckigen Kalkbröckchen besteht, die in einer sehr carbonatreichen schluffig sandigen Matrix mit geringem Tongehalt schwimmen. Die Bröckchen zeigen die Struktur des White Limestone und sind chemisch mit diesem identisch. Es sind bis zu nußgroße Bruchstücke des White Limestone, wie auch an Bruchkanten abgebrochene Fossilien beweisen. Die eckigen Gesteinstrümmer werden von einer meist unter 1 mm dicken pudrig wirkenden Schicht umgeben, die fossilfrei ist, mehr oder minder fest an dem Kalk haftet und bei Betrachtung mit der Lupe zuckerkörnig wirkt. Die Matrix weist nahe der Erdoberfläche bis zu 5, in tieferen Lagen 2-3 % nichtkalkiges Fremdmaterial auf, das sich unter dem Mikroskop als eingeschwemmte Roterdepartikel erweist, auch sind rotgefärbte nadelförmige Kristalle zu erkennen. Qualitative Eisen- und Aluminiumnachweise, die beim White Limestone und den Gesteinsbröckchen negativ waren, sind bei der Matrix positiv. Das schluffig kalkige Matrixmaterial – zum Teil kleinste Kalkbröckchen, zum Teil Calcitkristalle – erinnert ebenso wie das die Kalkbröckchen umgebende Mehl durch Oberflächenform, Farbe und Struktur an Salzausblühungen.

Dieses Lockermaterial, das aus dem festen White Limestone hervorgegangen ist, bezeichne ich als Kalkgrus.

Da das Auftreten der Krusten im SW Jamaicas mit dem vergrusten Kalk verknüpft ist (im Aufschluß Bild 4 übernimmt das Lockermaterial zusammen mit den Kalkschottern genetisch die Funktion des Gruses) wird zuerst das Problem der Kalkvergrusung diskutiert.

Die bereits oben zitierte Literatur läßt erkennen, daß auch auf Hispaniola und Puerto Rico Kalkvergrusung vorkommt, auch auf Cuba scheint dies nach den Ausführungen von PANOS & STELCL an einigen Stellen der Fall zu sein. R. WEYL (1953, S. 9) erklärt dieses Phänomen durch „Lösungsumsatz“, W. MONROE (1964 a, S. 108) schreibt von „Limestone that is solution riddled“. V. PANOS &

O. STELCL führen aus (1968, S. 120): "The chemical effect of the rain water falling on the surface of the soluble rocks and soaking through the pores, joints, cracks and faults into various depths causes generally the unequal disintegration and reduction of the previous surface!" Diese Aussage mag für Cuba zutreffen, aber in vielen Karstgebieten der unterschiedlichsten Klimate wurde eine solche Reaktion des Wassers mit dem Kalk überhaupt nicht beobachtet.

Auf Jamaica konnte ich nur feststellen, daß es Aufschlüsse gibt mit festem Kalk und solche mit Kalkgrus. Einen rezenten Vorgang der Vergrusung konnte ich nicht beobachten. Die Vergrusung ist auch sehr tiefgreifend. Im Gebiet zwischen Pepper und Nain sind Karstkuppen von über 30 m Höhe völlig vergrust, und auch im Liegenden der zugehörigen Cockpits von 10–30 m Tiefe konnte kein festes Gestein angetroffen werden, so daß die Vergrusungszone weit über 30 m Tiefe hinausreicht.

Die Zusammensetzung des Gruses weist darauf hin, daß die Vergrusung des Gesteins wohl durch stete Durchfeuchtung und Austrocknung erfolgte, wobei Lösungsvorgänge und Abscheidungen (möglicherweise Salzsprengungen?) an der Vergrusung beteiligt gewesen zu sein scheinen. Es fällt schwer, anzunehmen, daß dieser Prozeß, der von der Erdoberfläche ausging – gibt es doch nirgends unvergruste Kalke über Kalkgrus –, bis in große Tiefen allein von oberflächlicher Durchfeuchtung und Austrocknung gesteuert wurde. Hier bietet die Morphologie des Gebietes die Lösung an. Im Tertiär lag dieses Gebiet lange Zeit nur wenig über dem Niveau des Vorfluters und wurde wohl von den jahreszeitlichen Schwankungen der Obergrenze des phreatischen Bereichs – die rezent sehr schön im Cockpit Country zu beobachten sind – erfaßt, so daß durch diese eine stete Durchfeuchtung und Austrocknung erfolgen konnte.

Für diese These spricht, daß die Vergrusung heute bei ähnlichen Klimabedingungen fossil ist. Von den genetischen Faktoren änderte sich seit dem Tertiär nur wesentlich, daß das Gebiet durch quartäre Hebungen einige Hundert Meter über den Karstwasserspiegel (und dessen Schwankungsbereich) gehoben wurde.

Aber klimatisch bedingte Durchfeuchtung und Austrocknung durch eventuelle Schwankungen des Karstwasserspiegels können nicht die einzige Ursache der Vergrusung des Gesteins sein, treten doch im Untersuchungsgebiet auch unvergruste Kalke auf. Das Gestein muß Eigenschaften besitzen, die es der Vergrusung zugänglich machen. Diese dürfte wohl zu einem Großteil in der Porosität und vielleicht auch Klüftigkeit des Kalkes zu suchen sein. Nicht auszuschließen ist aber auch die Möglichkeit, daß in Teilen des Gebietes andere karsthydrographische Verhältnisse herrschten und somit die Vergrusung unterblieb.

Die Vergrusung des Kalkes ist somit an spezielle petrographische, klimatische (wechselfeuchte, wobei

einige aride Monate den Prozeß noch beschleunigen dürften) und karsthydrographische Bedingungen gebunden.

Über dem tertiär vergrusten Kalk sind auf Jamaica die Krusten entwickelt. Die Aufschlüsse zeigen, daß die Krusten durch zirkulierende Wässer und Austrocknung entstehen, wobei es während trockener Perioden an der Grenze Grus-Boden durch Substratwechsel zu Fällungen kommt, weitere Fällungen erfolgen an der Grenze Kruste-Grus, so daß die Kruste nach unten hin wächst.

Ähnliche Erklärungen geben auch MONROE für Puerto Rico und PANOS & STELCL für Cuba. Nur über den Zeitpunkt der Krustenbildung gibt es verschiedene Auffassungen. W. MONROE (1963, S. 4): "Most rainstorms in Puerto Rico consist of torrential showers, which last only 10 or 15 minutes, followed immediately by direct sunshine, with consequent rapid evaporation of much of the rainwater. The very hard caprock, generally 5 to 10 meters thick, seems to form by thorough soaking of the limestone with slightly acid water followed shortly by almost complete evaporation of the water." – Damit ist für MONROE die Krustenbildung ein Vorgang, der sich unter den rezenten Klimabedingungen vollzieht.

V. PANOS & O. STELCL (1968 a, S. 120): "The rain water soaking into the exposed limestone does not cause the dissolution and total disintegration of the structure but the diagenesis of the original rock in whole the zone of soaking. The diagenesis is conditioned by the recurrent drenching and dessication due to which a hard, dense and rather thick crust originate on the exposed limestone surface." – Diese stete Durchfeuchtung und Austrocknung führen sie auf tägliche und jahreszeitliche Klimaschwankungen zurück, wobei sie durch Kartieren der Verbreitungsgebiete dieser Krusten und durch Vergleiche mit Silikat- und Eisenkrusten über pliozänen und pleistozänen Sandablagerungen zu dem Schluß kommen (V. PANOS & O. STELCL 1968 a, S. 160): "Consequently it may supposed, that most of the calcareous weathering crusts of ancient aspect represent fossil formations as also the siliceous and ferruginous crusts do. Their presence indicates outstanding semi-arid conditions that existed most probably during the Upper Pliocen and the glacials in Cuba. On the contrary, some of the crusts, especially coloured ones, are more recent. It has to be taken for granted, that the development of calcareous weathering crusts proceeds in some parts of Cuba even in the climatic conditions of today."

Die Krusten auf Jamaica sind unterschiedlichen Alters. (P. BIROT & J. CORBEL & R. MUXART berichten über die Santa Cruz Mountains, 1968, S. 365): «Cette farine est susceptible de durcir rapidement au contact de l'air, peu de temps après que les routes sont entaillées.» In der Tat sind an keinem Straßenanschnitt vergruste Kalke aufgeschlossen,

immer ist die Kruste zu sehen. Mir fiel auf, daß trotz der derzeitigen Zerstörung der primären Karstformen, der steten Abspülung der die Kuppen verhüllenden Roterden, die die Kerne der Kuppen freilegt und auch die Krusten abträgt, an keiner Stelle unverfestigter Grus zutage tritt, immer bildet eine Kruste die Gesteinsoberfläche. Während meines Aufenthaltes konnte ich feststellen, daß trotz der am Spätnachmittag und frühen Abend fallenden Niederschläge der Boden tagsüber völlig ausgetrocknet war, so daß trotz eines humiden Monats während einiger Tagesstunden – besonders über Mittag – aride Bedingungen herrschten, die aufsteigende Wässer und damit Krustenbildung über dem Kalkgrus ermöglichen.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß W. LÖTSCHERT (1956, S. 200) auf den Mogoten in der zentralen Sierra de los Organos auf Cuba eine durch viele xerophytische Merkmale ausgezeichnete Urwaldformation beobachtete, die durch den schroffen Wechsel von Trockenheit und Feuchtigkeit eine Reihe von Anpassungen an ihre extremen Standorte aufweist.

Die Krusten auf Jamaica bilden sich unter den heutigen Klimabedingungen. Ein sehr schöner Beweis hierfür ist auch die Kruste im Pepper-Aufschluß, die über quartären Schottern entwickelt ist. Sicherlich wird die Krustenbildung in Gebieten mit einigen ariden Monaten noch verstärkt, aber das Auftreten von Krusten kann nach den bisherigen Ausführungen nicht als Beweis für ein generell semi-arides Klima gelten, sondern es handelt sich um Erscheinungen, die auch in dauernd humiden wechselfeuchten Tropen, bedingt durch den täglichen und monatlichen Wetterablauf, auftreten können.

Nicht alle Krusten im Untersuchungsgebiet sind aber rezent gebildet. Die Krusten am Boden der Cockpits unter 10–30 m Bauxit sind fossil, denn es ist schwer vorstellbar, daß sich das rezente Klima durch so mächtige Bauxitlager hindurch auswirkt. Die Krusten wurden entweder unter noch geringer Bauxitbedeckung gebildet und dann fossilisiert oder sie wurden zum Zeitpunkt, als das Gebiet in Nähe des Karstwasserspiegels lag, durch Schwankungen des Karstwasserspiegels gebildet. Beide Möglichkeiten ordnen der Kruste pliozänes Alter zu.

Somit ergibt sich, daß sich Krusten auf Jamaica auf Kalkgrus und im Zusammenhang mit carbonathaltigem Lockermaterial unter den rezenten Klimabedingungen bilden können, aber auch daß bereits im Pliozän Voraussetzungen für die Krustenbildung vorhanden waren. Im Pliozän können kaum wesentlich andere Klimabedingungen geherrscht haben als heute, da einmal in diesem Zeitraum sich der Kegelkarst entwickelte, der wechselfeuchtes bis immerfeuchtes tropisches Klima verlangt, andererseits die Krustenbildung sich auf dauernd humide wechselfeuchte und trockenere Klimagebiete erstreckt.

Die Untersuchungen der Krusten und die Relation zum Formenschatz zeigt, daß sich im SW Jamaicas der gleiche Formenschatz entwickeln konnte, gleichgültig, ob Sinter oder eine Kalkkruste vorhanden ist oder nicht. Weder im Kegelkarst noch im Bereich der Lititz-Korrosionsfläche konnte beobachtet werden, daß Gesteine mit Krusten oder Sinter sich wie Härtinge verhalten. Sinter und Krusten sind der Korrosion ebenso zugänglich wie der feste Kalk, da auf ihnen ebenso junge Korrosionsformen und Bodenbildungen auftreten wie auf dem Kalk.

Einzig dadurch kommt ihnen morphologische Bedeutung zu, daß sie die durch Vergrusung gelockerten Kalke verkitten, so daß diese sich wie fester Kalk verhalten. Da sich bereits im Pliozän Krusten bildeten, verhielt sich der Grus immer wie festes Gestein. Damit wird die Frage primär Kegelkarst oder primär Vergrusung unbedeutend.

Die Sinter bleiben eine Arabeske der Kegelkarstgebiete und die Kalkkrusten sind somit eine petrographisch und klimatisch bedingte Variante, die auch in Gebieten mit Kegelkarst auftreten kann, ohne aber den Formenschatz entscheidend zu beeinflussen, wie das Gebiet im SW Jamaicas zeigt. Ebenso klar lassen auch die zahlreichen Bilder, die im Besitz von H. LEHMANN und des Geographischen Instituts Frankfurt/M. sind, erkennen, daß zwischen den mit Krusten ausgestatteten Kegelkarstgebieten Puerto Ricos und Cubas (wobei Bilder vorliegen, die beweisen, daß nicht alle Mogoten auf Cuba mit Krusten versehen sind!) und den Kegelkarstgebieten Mexicos, Indonesiens und Malaysias (mdl. Mitt. und Bildmaterial Dr. W. MATZAT), die keine Krusten aufweisen, Übereinstimmung im Formenschatz vorliegt.

Literatur

- BALAZS, D., 1968: Karst Regions in Indonesia. – Karszt-Es Barlangkutató, Vol. V, Annual course 1964–1967, S. 3–61, Budapest.
- BLANCK, E., 1930: Krustenböden, in: Handbuch der Bodenlehre, 3. Band, S. 352–361, Berlin.
- BIROT, P. & CORBEL, J. & MUXART, R., 1968: Morphologie des Régions Calcaires à la Jamaïque et à Puerto Rico, in: Phénomènes Karstiques, S. 335–392, C.N.R.S., Paris.
- COLE, L. J., 1910: The caverns and people of northern Yucatan. Bull. Am. Geogr. Soc., Vol. 42, S. 321–336 (zit. nach Monroe, 1963).
- GERSTENHAUER, A., 1960: Der tropische Kegelkarst in Tabasco (Mexico), in: Int. Beitr. zur Karstmorphologie, Zeitschr. f. Geomorphologie Suppl. 2, S. 22–48, Berlin.
- , 1964: Blatt 3 (Nord Puerto Rico) des Internationalen Karstatlas. Erdkunde 18, Beilage, Bonn.
- , 1966: Beiträge zur Geomorphologie des nördlichen und mittleren Chiapas (Mexico) unter besonderer Berücksichtigung des Karstformenschatzes. Frankfurter Geogr. Hefte, 41, Frankfurt/M.
- , 1968: Diskussionsbemerkungen zu ‚Physiographie and geologic control in development of Cuban mogotes‘ von V. PANOS & O. STELCL – Zeitschr. f. Geomorphologie 12, S. 165–167, Berlin.
- LEHMANN, H., 1936: Morphologische Studien auf Java. Geogr. Abh. III, 9, Stuttgart.
- , 1953 a: Der tropische Kegelkarst in Westindien. Tagungsber. und wiss. Abh., Deutscher Geographentag Essen, S. 126–131, Wiesbaden.
- , 1953 b: Karstentwicklung in den Tropen. Umschau, 53, S. 559–562, Frankfurt/M.
- , 1954: Der tropische Kegelkarst auf den großen Antillen. Erdkunde 8, S. 130–139, Bonn.
- , 1960 a: Blatt 1 (Sierra de los Organos Cuba) des Internationalen Karstatlas. Zeitschr. f. Geomorphologie, Suppl. 2, Beilage.
- , 1960 b: La Terminologie classique du Karst sous l’aspect critique de la morphologie climatique moderne. Rev. d. Geogr. Lyon 35, S. 1–16, Lyon.
- LEHMANN, H. & KRÖMMELBEIN, K. & LÖTSCHERT, W., 1956: Karstmorphologische, geologische und botanische Studien in der Sierra de los Organos auf Cuba. Erdkunde 10, S. 185–204, Bonn.
- MONROE, W., 1963: Origin and interior structure of mogotes of northern Puerto Rico. Sympos. Geography in the tropics, 6 S. als Manuskript im Besitz von H. Lehmann.
- , 1964 a: Lithological Control and Tropical Karst Topography. Abstracts of papers, 20. Int. Geographentag, London, S. 107–180, London.
- , 1964 b: The Origin and Interior Structure of Mogotes. Abstracts of papers, 20. Int. Geographentag London, S. 108, London.
- PANOS, V. & STELCL, O., 1968 a: Physiographie and Geologic Control in Development of Cuban Mogotes. Zeitschr. f. Geomorphologie 12, S. 117–165, Berlin.
- , 1968 b: Erwiderung. Zeitschr. f. Geomorphologie 12, S. 168–171, Berlin.
- PFEFFER, K.-H. 1967: Neue Beobachtungen im Kegelkarst von Jamaica. Vortrag Deutscher Geographentag Bad Godesberg, erscheint im Tagungsber. und wiss. Abhandl. (im Druck).
- VERSEY, H. R., 1962: Older tertiary limestone, in: Synopsis of the Geology of Jamaica, S. 26–43, Kingston.
- WEYL, R., 1953: Die Sierra de Bahoruco von Santo Domingo und ihre Stellung im Antillenbogen. Neues Jb. Geol. u. Paläontol., Abh. 98, S. 1–27, Stuttgart.
- WISSMANN, H. VON, 1954: Der Karst in den humiden und sommerheißen Gebieten Ostasiens. Erdkunde 8, S. 122–130, Bonn.

Mein Dank gilt Dr. J. LEE, Geologe bei Kaiser Bauxite (Spur Tree) für viele Hinweise auf Kalkgrus und Krusten, die durch den Bauxitabbau bekannt wurden, und Dr. H. R. VERSEY, dem Direktor des Geological Survey Dep (Kingston) für zahlreiche Unterstützungen während meines Jamaica Aufenthaltes. Zu danken habe ich auch Dr. KRUMM, Institut für Petrologie an der Universität Frankfurt/M. für wertvolle Hinweise beim Auswerten der Dünnschliffe. Nicht zuletzt sei auch Prof. Dr. H. LEHMANN und Priv. Doz. Dr. W. MATZAT für Hinweise und die Erlaubnis, unveröffentlichtes Bildmaterial einzusehen, herzlichst gedankt.