

# Oberflächenkrusten auf Karbonatgestein als Problem des flächenhaften Kalkabtrags der allgemeinen Karstdenudation

Von Harald EICHER

## 1. Danksagung

Für das Zustandekommen dieser Arbeit danke ich ganz besonders den Vorständen zweier Institute, die auf Grund der geschilderten Problemstellung unentgeltlich dem Verfasser Dienstleistungen anboten, ohne die die Erarbeitung dieser geomorphologischen Fragen keine ausreichende Basis gefunden hätte.

Es ist dies der Leiter des Instituts für Umweltphysik der Universität Heidelberg, Univ.-Prof. Dr. K. O. MÜNNICH, der bei der Finanzlage des Instituts dem Verfasser die kostspieligen  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmungen unentgeltlich durchführen ließ, wobei ich insbesondere auch der Frau Dipl.-Phys. Marianne MÜNNICH, Leiterin des C14-Labors, für die engagierte Arbeit danken möchte.

Mein weiterer Dank gilt dem Vorstand des Instituts für Geologie und Paläontologie der Universität Graz, Univ.-Prof. Dr. Helmut FLÜGEL, der mir aus Erfahrungen seiner Kartierungstätigkeit weitere Hinweise auf Krustenbildungen gab und unentgeltlich Dünnschliffe von Krustenproben anfertigen ließ, für deren Ausführung und Ablichtung ich Univ.-Doz. Dr. Alois FENNINGER zu Dank verpflichtet bin.

## 2. Einleitung

Kalksinterkrusten auf Karbonatgestein sind nichts Außergewöhnliches. Gerade durch den Forstauschließungswegebau der Nachkriegszeit wurden auch jene Areale gut aufgeschlossen, die bislang von den Wäldern und Fluren verhüllt waren, so daß heute ein besserer Überblick über die Verbreitung dieser Karstakkumulationen vorliegt als noch vor ein paar Jahrzehnten, als man diesem Phänomen von geographischer Seite wenig Aufmerksamkeit widmete. Dabei zeigt es sich häufig, daß die meisten Krustenüberzüge auf Gesteinsoberflächen gar keine glatten Oberflächenkrusten sind, sondern nur beim Straßen- oder Güterwegebau eine oberflächenkluftparallele Gesteinsplatte desquamationsartig abplatze und die Kalksinterkruste eigentlich eine Kalzitfüllung einer alten, vernarbten Kluft darstellt. Zuweilen ist auch eine Roterdebildung miteingeschlossen, und es steht schon vom Erscheinungsbild des Aufschlusses für den Geomorphologen außer Frage, daß diese Inkrustierungen ein hohes Alter haben müssen (mindestens präglazial).

Ganz anders verhält es sich mit jenen Kalksinterkrusten, die hier behandelt werden sollen; sie sind im alpinen Raum eher selten anzutreffen. Ihre Position ist eindeutig als flächenhafter echter Kalkkrustenüberzug zu identifizieren, wobei der harte schalenförmige Oberflächenaufbau meist mehrere Sintergenerationen im Millimeterbereich aufweist und das darunter befindliche Muttergestein deutlich porös und ausgelaugt erscheint; die Aszendenz ist unverkennbar. Diese Art von Oberflächenüberzügen bemerkte der Verfasser zum ersten Mal auf Karbonatgesteinen des Grazer Paläozoikums (Schöckl/NE-Abdachung, Garracher Wald E, SE Hauenstein beim Sternwirt), wollte aber mit der Deklaration als besondere karstmorphologische Leitform erst dann auftreten, als dieselbe Akkumulationserscheinung im Murauer Paläozoikum anzutreffen war, hier zudem in noch eindrucksvollerer Problemstellung. Eine letzte Fundstelle konnte an der Nordabdachung des Warschenecks ausgemacht werden.

Es war dem Verfasser klar, daß diese auf Aridität hinweisenden Oberflächenüberzüge, wenn sie klimamorphologisch zu interpretieren waren, ein präglaziales, eventuell interglaz-

ziales Alter haben müßten (für jünger steht ja das Instrument der absoluten Datierbarkeit zur Verfügung) und als solche, wenn sie nicht der kräftigen Karstdenudation der Kaltzeit mit der verstärkten Lösungsmöglichkeit an Gesteinsoberflächen anheimfielen, nur als exhumiert anzusehen waren. Diese Interpretation ist etwa beim Aufschluß Sternwirt (eine Stelle, die auch mit dem Wagen von Graz-Mariatrost aus gut zu erreichen ist) insofern naheliegend, als in der Umgebung dieser Oberflächenkrusten noch Roterden erhalten sind, die die fossile Situation unterstreichen.

Um so verwunderlicher war die Umgebungssituation der flächenhaften Kalkkrustenüberzüge am Kalkbergzug (N Weißenbach bei St. Lambrecht/Obersteiermark) des Grebenzenkalkstockes. Sie zeigen keinerlei Hinweise auf Exhumierung und sind vom Krustentyp her denen beim Sternwirt gleichzusetzen. In einer Hanglage von rund 15 Grad Neigung haben diese Krustenüberzüge keinerlei Oberflächenlösung aufzuweisen, obwohl ihnen nur ein sehr dünner Nadelwald-Mullboden (Rendsina) aufliegt. Auch eine konservierende, heute nicht mehr sichtbare Hangschuttauflage (die möglicherweise beim Wegebau entblößt wurde) kommt für die Erklärung der in frischem Habitus erhaltenen Krusten nicht in Frage. Gleichfalls findet sich zu einer andersgearteten Erklärung auch kein möglicher spezifischer Aquifer, der hier als Agnes der Krustenbildung in Erscheinung träte. „Jung oder alt“ war die erste Hauptfrage für diese spezifische Mikrorelief-Karstakkumulationsform (Abb. 2), wobei das gleichartige Aussehen (Krustengenerationen) zu den Standorten im Grazer Paläozoikum eher auf hohes Alter hinwies. Wo bliebe aber dann hier in 1200 bis 1300 m Höhe (das betreffende Gebiet war zur Kaltzeit nahezu vegetationslos und lag nur unweit der Eisoberfläche des Murgletschers) die allgemeine Kalklösungsdenudation? Allein für die letzten 10.000 Jahre wird der flächenhafte Kalkabtrag in den Alpen (H. WILHELMY 1975;18) auf 15 bis 20 cm veranschlagt. Es müßte somit von der geomorphologischen Gesamtsituation her eine junge Krustenbildung sein, wobei der Verfasser eine mögliche Chance sah, die einzelnen Krustengenerationen bei einer etwaigen absoluten Datierungsmöglichkeit mit klimatischen Änderungen zu parallelisieren. Eine absolute Altersbestimmung war daher dem Verfasser als erster Schritt der Problemlösung ein großes Anliegen.

Für jenen Leserkreis, dem es nicht geläufig ist, warum die Radiokarbondatierung, die bekanntermaßen bei Kohlenstoffsubstanzen ehemaliger Lebewesen (Knochen, Hölzer etc.) angewandt wird, hier auch bei anorganischer Materie angewendet werden kann, sei die Anwendungsmöglichkeit in vereinfachter Weise hier erläutert. Im weiteren wird auf die einschlägige Literatur verwiesen. Es ist auch ein Verständnis der Krustenbildung nötig: Bei der Bildung von Oberflächenkrusten müssen zuerst Flüssigkeiten in die feinen Gesteinspalten beziehungsweise Bodenporen eindringen, die dann bei wärmerer Jahreszeit (zum Beispiel Winter: Deszendenz – Sommer: Aszendenz) Kapillarströme mineralischer Lösungen, hauptsächlich Kalziumkarbonat, aber auch Eisen- und Manganverbindungen (die die rostbraune Färbung hervorrufen), verursachen. Die Gesteinsoberfläche bildet bei der Tageshitze eine Verdunstungsfront, an der das kapillar aufsteigende Wasser unter Zurücklassung seines Mineralgehalts verdampft. Diese Zersetzung des Gesteinsinneren, also Krustenbildung auf Kosten des Zerfalls der inneren Substanz, ist an den vorliegenden Aufschlüssen deutlich studierbar. Das poröse Muttergestein unterhalb der Kalkkruste deutet so an, daß die Kruste auch ohne allochthon zugeführte Substanzen von sich aus zu wachsen in der Lage ist. Die Krustenbildung bedeutet chemisch eine Umkehrung der Lösungsformel. Nach der Gleichung  $\text{CaCO}_3 + n \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2 \text{HCO}_3^- + n - 1 \text{H}_2\text{O}$  kann bei Entweichen (Hitzeeinwirkung oder biogene Bindung) des  $\text{CO}_2$  das gelöste Kalziumbikarbonat sich nicht mehr halten und wird kryptokristallin ausgefällt. Wie in einem organischen Substrat ist hier *atmosphärischer Kohlenstoff* gespeichert. Die  $^{14}\text{C}$ -Methode nach W. F. LIBBY (Chikago 1950) ist in der Lage, die entsprechend des radioaktiven Zerfalls noch enthaltene  $^{14}\text{C}$ -Menge in eine zeitliche Relation zu bringen, bis

der Nulleffekt der Zählrohre eintritt, der die größte Alters-Reichweite von etwa 50.000 Jahren markiert. Diese Methode der absoluten Altersbestimmung wurde bei Tropfsteinen schon vielfach angewendet, und es steht auch unter Bedachtnahme diverser Kritiken über dieselbe Zuverlässigkeit, wie bei  $^{14}\text{C}$ -Bestimmungen organischer Substanzen, für die hier aufgeworfene Problemstellung außer Frage, daß schon ein interessantes Ergebnis vorliegt, ob für diese Krusten, die so jugendlich aussehen, ein Nulleffekt der Zählrohre eintritt oder ein entsprechender  $^{14}\text{C}$ -Gehalt zu verzeichnen ist.

### 3. Zur Systematik der Krustenbildungen als geomorphologische Leitform

Um die angetroffenen Oberflächenkrusten als eine Besonderheit für den alpinen Raum zu deklarieren, ist ein Studium der Literatur erforderlich. Dadurch wird es erst möglich, diese Mikrorelief-Karstakkumulationsform in das bislang bekannte Leitformenschema von Krustenbildungen einzuordnen und sie nach der Häufigkeit ihres Auftretens standortmäßig oder klimamorphologisch zuzuordnen. Die Literatur zeigt, daß man sich schon früh bewußt war, daß echte Oberflächenkrusten auf azzendente Gesteinswasserbewegungen zurückzuführen sind und ihr Hauptverbreitungsgebiet daher in ariden und wechselfeuchten Regionen zu suchen ist (BLACKENHORN 1901, A. PENCK 1912).

Zu einem ersten Versuch einer Systematik von Kalkkrusten kam es erst durch G. KNETSCH 1937. Seine Erkenntnis, daß eine Krustenbildung nicht allein von äußeren klimatischen Bedingungen abhängig ist, sondern daß verschiedene Bedingungen bei einem Zusammenwirken der maßgebenden Faktoren substituierbar sind (Möglichkeiten der Wasserzirkulation, Gesteinsaufbau und Lockergesteinsauflagen, Art der Regenfälle, Lage des Grundwasserspiegels), war ein weiterer Fortschritt. Eine Arbeit, die eher in eine geomorphologische Zeitschrift gepaßt hätte, liegt in der Abhandlung von E. RUTTE (1958) über Kalkkrusten in Spanien vor. Diese Arbeit zeichnet sich vor allem durch detaillierte Beschreibung der Kalkkrustentypen aus und macht genetische Aussagen in einer Zeit, in der die Klimamorphologie als Teildisziplin erst geboren wurde. Seine deutschsprachige Nomenklatur für Kalkkrusten-Leitformen ist die bislang weitreichendste Systematik, auf die wir zurückgreifen können: In der Definition nach E. RUTTE (1958; 56) versteht man unter Echten Kalkkrusten lamellierte Gesteinsneubildungen im Mächtigkeitbereich von 0,1 bis 10 cm. Diese Krusten entstehen, eine Rinde bildend, durch episodische oder periodische Benetzungen mit kalkreichen Lösungen bei intensiver Verdunstung des Lösungsmittels und lagenweiser Bildung der Kalzitkristalle entlang dafür besonders prädestinierter Bereiche. Typisierend ist zudem die Rötung oberflächlicher Kalkkrusten durch Eisenoxyde (1958; 112). Die Echten Krusten entstehen somit erstens an der freien Oberfläche unter aktiver Beteiligung des Regenwassers und zweitens subterran in Hohlräumen, Spalten etc. aus Sickerwässern, denen die Möglichkeit zur Verdunstung gegeben ist (1958; 119). Alle Echten Krusten sind, wenn sie nicht gerade in Bildung stehen, hart, dicht und spröde. Es ist ein kryptokristalliner Kalk, der kein Porenvolumen mehr besitzt und somit kein Wasser mehr durchläßt. Vertikale Lösungsbewegungen sind durch reife Krusten hindurch nicht möglich, E. RUTTE (1958; 120) bezeichnet sie als Wasserstauer in miniature. Nach E. RUTTE wären somit die eingangs erwähnten Spaltenvernarbungen (die beim Absprengen durch den Güterwegbau erst zutage traten), wenn sie an oberflächennahe Bereiche gebunden sind, auch als Echte Krusten zu bezeichnen, zumal sie wie die Oberflächenkrusten Lamellierungen (Kalzitkristall-Generationen) aufweisen.

Diese Echten Kalkkrusten sind von den Zementationen oder Inkrustierungen zu trennen, wonach Hohlräume ohne eine Lamellierung verkittet werden, ein Vorgang, den man besonders aus den Lockergesteins-Zementierungen kennt. Eine Sonderform stellen die Kalkkonkretionen (Nodulos) dar, die im Erscheinungsbild mit den Lößkindeln verwandt sind.

Einen weiteren wesentlichen Krustentyp stellt schließlich der Sinterkalk (Travertin bei lagig-struktureller Ausfällung, Sintergrus) dar, der nicht an das Verbreitungsgebiet der Echten Kalkkrusten gebunden ist und meist große Mächtigkeitsunterschiede aufweist. Dünne Sinterüberzüge können Echten Krusten gleichen, da die Entstehungsweisen sich in diesem Falle entsprechen. Hier sind als Sonderform vor allem die Quellsinterkrusten an Hängen hervorzuheben. In Zonen ehemaliger Grundwasserstände gibt es auch die Sonderform von Knollen-Umkrustungen.

Tab. 1: Kalkkrustenübersicht

	Glatte Oberfläche (Mikroreliefunterschiede ausgebügelt)	Lamellierung im Krustenprofil	örtlich gebundene Bildung flächenhafte Verbreitung	Mitbeteiligung von Fe-Oxyden	Wirrgestein autochthon lithomorphe Bindung	Wirrgestein allochthon eingewanderte Substanz arid-klimaphytomorphe Bildung	kosmopole Form	aszendente Wasserbewegung	deszendente Wasserbewegung	Verdunstungsbeschleunigung durch Wasserzerstäubung	Bildung unter Grundwasser einfluß	klastisches Medium (nur im Lockergestein)	Erscheinungsbild als unechte Oberflächenkrusten durch Exhumierung möglich
Oberflächenkrusten (Echte Krusten)	×	×	×	×	×	×	×	×					
Subterrane Kr. (Oberflächenkrusten unter Bodenbedeckung)		×	×	×	×	×	×	×					
Quellsinterkalke (ohne erkennbares biolog. Mitwirken)	×	×	×	×		×	×	?	×				
Travertine (Bildung mit Begleitvegetation)	×		×	×		×				×			×
Nodulos (Kalkkonkretionen) und Knollenumkrustungen			×	×	?	?	?		×		×	×	
Zementationen			×	×	×	?	?		×		?	×	×

Die Tabelle 1 soll, an die auffindbare Literatur angelehnt, einen Überblick über die Kalkkrustentypen geben. Sie ist als Provisorium aufzufassen, da sie eine aus der Gesamtliteratur improvisierte Systematik bringt und nicht an einen Autor alleine angelehnt ist. Eine allgemeingültige Systematik müßte wohl in einem betreffenden Symposium beschlossen werden.

Wenn wir die Problematik der Genese weglassen, so zeigte vor allem die detaillierte Beschreibung nach E. RUTTE (1958; 121) ein Bild, das mit den angetroffenen alpinen Krusten geradezu identisch ist. Besonders hervorzuheben ist seine Begründung für das Ausbügeln des Mikroreliefs, wonach auch im reliefierten Terrain sich die Lamellen der Oberflächenkrusten parallel zur Unterlage anordnen. Kann Wasser in schüsselförmigen Vertiefungen stagnieren, bilden sich durch fortschreitende Erhöhung der Schüsselfüllung harmonisch eingepaßt erhöhte Krustenlamellen, die die Mikroreliefunterschiede ausbügeln.

In der Arbeit von H. KULKE 1974 sind Kalkkrustentypen Nordafrikas beschrieben, die dem Habitus der angetroffenen alpinen nicht so nahe kommen. Sie sind offenbar durch Insolation angegriffen, nicht schön lamelliert, wobei die oberen Krustenpartien oft äolisch verschmutzt sind, und haben nicht zuletzt eine unvergleichbar größere Mächtigkeit. Es besteht allerdings kein Zweifel, daß es sich um genetisch verwandte Typen handelt (1974; 987). Der Fortschritt der Untersuchung besteht darin, daß an den Krusten Laboruntersuchungen durchgeführt wurden (Mikro-Struktur, Permeabilität, Karbonatgehalte und Löserückstände) und eine interessante Überlegung über das Alter der Bildung angestellt wurde (1974; 988). Nach H. KULKE würde eine 1,5 cm mächtige Kalkkruste (75%  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt, 30% Porosität – bei den alpinen sicherlich geringer) unter der Maxime, daß sie sich durch vollständiges Verdunsten einer Lösung bildete, eine Wassersäule von hundert Metern benötigen. Bei Annahme eines Jahresniederschlags von 500 mm und 165 mm Einsickerungsrate wären nach ihm 600 Jahre zur Krustenbildung erforderlich. Die geringere Porosität und anzunehmende, wesentlich höhere Versickerungsraten dürften nach diesem Gedankengang bei den angetroffenen Krusten noch längere Bildungszeiten implizieren. Auch RUELLAN (1970; 299) tippt auf ähnlich langsame Bildungszeiten, womit sich auch die geomorphologische Frage nach den exogenen Kräften der allgemeinen Lösungsdenudation auf Karbonatgestein (zumindest nach dem Klimawechsel) stellt.

Wenn wir nach der nun bekannten Problemstellung die Möglichkeit der Exhumierung bei den Kalkberg-Krusten ausschließen müssen, muß sich in der weiteren Literatursuche die Frage stellen, falls diese doch nicht im klassischen Bildungsmilieu einer ariden bis semiariden Vorzeit ihre Entstehung hatten, ob ernstzunehmende konvergente Formen in Frage kommen. Nach allen verfügbaren Berichten kommen nur Eisen-Mangan-Überzüge, unabhängig, ob sie Bestandteile einer Karbonatgesteinsmatrix darstellen, in allen ariden Gebieten der Erde (sowohl „Kälte- als auch Wärmewüsten“) vor, also auch in Hochgebirgsregionen und lokal in allen anderen Klimagebieten, wenn entsprechende mikroklimatische Bedingungen vorhanden sind. Es handelt sich hier aber stets um dünne (bis 3 mm) Überzüge und Rinden auf verschiedenartigsten Gesteinen. Meist mit einer bräunlich-rötlichen Farbe versehen, unterschreitet nach Laborbefunden (SCHEFFER et al. 1963) das Verhältnis Fe/Mn selten die Zahlen 5 : 1. Auch hier ist die glatte Oberfläche dieser dünnen Überzüge auf den lamellaren Feinbau zurückzuführen. Auf zusätzliche Ursachen der Bildung solcher konvergenten Krustenbildungen in atypischen Klimagebieten wird von einigen Autoren auch auf den Einfluß der Mikroflora hingewiesen (SCHEFFER 1963, HÖLLERMANN 1963). Man kann auch den weiteren Arbeiten, wonach solche Mikro-Krusten „Gebirgsack“, „Gletscherack“ oder „Schutzrinden“ (HÖGBOM 1912, ZAHN 1930, J. BÜDEL 1960) bezeichnet werden, nicht entnehmen, daß sie Zentimeterdicke erreichen und ähnlichen kryptokristallinen Kalzitanteil haben.

Die jüngsten Arbeiten von A. CAILLEUX 1965, P. KRIVAN 1958 und T. VOGT 1977 behandeln quartäre Kalkkrusten in Lockersedimenten, die, wenn sich hier auch eine Parallele in der Mobilisation von Eisen und sein Niederschlag in Form von Hydroxyden zeigen, mit den hier behandelten Echten Krusten aszendenter Wasserbewegung nichts zu tun haben. In diesen Arbeiten handelt es sich eher um deszendente Zementationen, eine Tatsache, die wir auch aus der „Rautenbildung“ bei Brunnenbauten im Grazer und Leibnitzer Feld kennen – sicherlich auch eine interessante heimische Kalkkrustenbildung, die einer näheren Untersuchung wert wäre, denn die Frage, ob hier eine warmzeitliche oder kaltzeitliche Bildung vorliegt, ist noch völlig offen.

#### 4. Ergebnisse der isotopephysikalischen Untersuchungen an den Krustenproben Kalkberg I und Kalkberg II

Auf Grund der geschilderten Problematik war richtungweisend, daß nur eine absolute Altersdatierung eine Interpretationserweiterung ermöglichte. Denn als Quellsinterkruste (die nach E. RUTTE [1958; 62] im Aussehen mit Echten Krusten identisch sein kann) wäre auch ein jüngeres Alter anzunehmen, auch wenn der verursachende Aquifer heute fehlt; als Echte Kruste müßte aber ein Alter angenommen werden, das auf wechselfeuchte Klimabedingungen zutrifft. Ob hier die postglaziale Wärmezeit ausreicht, ist eher fraglich, so daß Interglazialzeiten am ehesten in Frage kommen. Für ein gar tertiäres Alter müßte man die exogenen Kräfte und die Hangdynamik am Kalkberg an Hand des Aufschlusses neu überdenken – vom Autor allerdings schwer vorstellbar.

Es waren in weiterer Folge die Ergebnisse isotopephysikalischer Untersuchungen von Tropfsteinproben anderer Arbeiten, die den Verfasser ermutigten,  $^{14}\text{C}$ -Bestimmungen an Krustenproben durchführen zu lassen und bei dementsprechendem Erfolg die Interpretation einer Kohlenstoff-13-Analyse anzuschließen. Hier war insbesondere die Arbeit von M. A. GEYH 1970 interessant, wonach seine Ergebnisse im Vergleich mit Resultaten von I. LABEYRIE et al. 1967 die Möglichkeit einer Interpretation aufzeigten, daß  $^{18}\text{O}$ - und  $^{13}\text{C}$ -Werte sowie die  $^{14}\text{C}$ -Gehalte von Kalksinter überregionale klimatische Änderungen widerspiegeln und nicht nur lokaler Natur sind. Diese sicherlich noch im experimentellen Stadium befindlichen Aussagen gehen dahin, daß  $^{13}\text{C}$ -Werte mit der Vegetationslosigkeit in Beziehung gesetzt werden können. Es handelt sich hier um eine Abnahme bei milderem Klima durch die größere  $\text{CO}_2$ -Produktion im Boden, während die  $^{18}\text{O}$ -Werte mit den mittleren Jahrestemperaturen korrelierbar sein sollen. Wie eingangs bereits erläutert, ist die Anwendbarkeit der Messung der  $^{14}\text{C}$ -Konzentration bereits über das experimentelle Stadium hinaus, wobei es nur Meinungsunterschiede für die spezifische  $^{14}\text{C}$ -Rezentraktivität von Kalksinter gibt, die zwischen 65% und 85% modern (gegenüber 100% bei organischen Relikten) angesetzt wird. Gerade die Untersuchungen in der Steiermark über die eingesinterte Feuerstelle mit Holzkohlenresten im Katerloch bei Weiz (M. GEYH 1970; 153) hat hier zur Eichung der  $^{14}\text{C}$ -Zeitskala von Kalksinter ein ausgezeichnetes Beispiel geliefert. Die Abb. 1 zeigt die Standorte der eingesandten Krustenproben. Sie wurden an jenen Stellen entnommen, wo die Krustenüberzüge zur freien Oberfläche (exogener Kräfte) besonders exponiert sind. Die Probe Kalkberg I wurde (mit peinlicher Sorgfalt, nicht mit organischem Material in Berührung zu kommen) auf einer etwas überhängenden, zirka 35 Grad geneigten Gesteinsplatte entnommen (Abb. 2), deren Reliefierung deutlich von der Kruste ausgeglichen wird. Die Art der Vernarbung an den Rändern der Gesteinsblöcke läßt auf eine mögliche inaktive Quellsinterkruste schließen. Dagegen spricht aber das Muttergestein, das unter der Kruste durch seine Porosität deutlich ausgelaugt erscheint. Sein Substanzdefizit deutet so offenkundig auf kapillar-azendente Wasserzirkulation, daß die entnommene Kalkkruste eher als eine Echte Kruste zu interpretieren ist. Die gänzlich unbeschädigte und glatte Oberfläche ließ ein Alter außerhalb der  $^{14}\text{C}$ -Reichweite kaum erwarten.

Besonders jugendlich erschien dem Verfasser der Standort der Krustenentnahme Kalkberg II, wo die starke Hangneigung beziehungsweise Überhangstelle die Bildung von Außenstalaktiten ermöglichte, in deren Zwischenraum sich ein Mullboden befand, der beim ersten Blick gar eingeschlossen erschien. Bei genauerer Beobachtung und Ausräumung des organischen Materials stellte sich dann doch heraus, daß die Kruste sich bei freier Oberfläche bildete. Wie Abb. 3 zeigt, sieht diese Stelle keineswegs danach aus, daß sie Tausende Jahre (oder gar über die  $^{14}\text{C}$ -Reichweite) alt ist.

Ganz zum Unterschied zu den Probenentnahmestellen Kalkberg I und II stammte die Probe Kalkberg III aus einem Gebiet, das 200 m höher lag und nur eine oberflächennahe

Kruste darstellte (nach E. RUTTE allerdings eine Echte Kruste, da sie an die oberflächennahe Zone gebunden ist und eine Lamellarstruktur aufweist). Diese Kruste war erst durch den Forstaufschließungswegebau freigelegt worden und war dadurch interessant, weil sie Roterdeeste eingeschlossen hatte (Abb. 5). Sie war offensichtlich ein subterrainer Krustentyp und hatte nach Ansicht des Verfassers mit den Proben K I und K II nichts gemeinsam, als daß sie nur einige hundert Meter von den glatten Oberflächenkrusten entfernt lag. Vorsichtshalber wurde aber mit einer Lokalbeschreibung auch diese Krustenprobe an das Institut für Umweltp Physik in Heidelberg eingeschickt. Dort hielt man diese Probe von vornherein als außerhalb der  $^{14}\text{C}$ -Reichweite, und sie wäre erst aufbereitet worden, wenn K I und K II auf Querverbindungen schließen ließen.

Wie die Tabelle 2 zeigt, ergaben die Auswertungen der Krustenproben einen sogenannten „Nulleffekt der Zählrohre“. Ursprünglich wurde nur K I datiert und dann des überraschenden Meßergebnisses wegen auch die Probe II aufbereitet und gemessen. Auf Grund mitgesandten Bilder hielten auch die Leiter des Labors, K. O. und W. MÜNNICH, die Krustenproben für junge Bildungen.

Tab. 2: Ergebnisse der  $^{14}\text{C}$ -Untersuchung des Instituts für Umweltp Physik der Universität Heidelberg

Probe	Labor-Nr.	$^{14}\text{C}$ -Konzentration % modern	$^{14}\text{C}$ -Modellalter
Kalkberg I	H/4802-4193	$-0,12 \pm 0,16$	Mit 96% Wahrscheinlichkeit älter
Kalkberg II	H/4803-4216	$-0,01 \pm 0,19$	als 45.000 Jahre

Ein Alter von 50.000 Jahren BP würde gerade ins Hochglazial der Würmzeit hineinreichen, demnach müßten die Krusten auf alle Fälle den starken Kräften periglazialer Hangdynamik ausgesetzt gewesen sein. Der Interpretationsspielraum ist durch diese Meßergebnisse sehr weit eingengt worden.

### 5. *Schlußfolgerungen*

Selbst wenn wir davon ausgehen, daß Oberflächenkrusten als sehr widerstandsfähig beschrieben werden, fällt es schwer, zuzumuten, daß diese glatten Gesteinsoberflächen (vgl. Abb. 3), die in ihrer Frische verblüffen und dem Wetter laut Altersbefund durch Jahrtausende ausgesetzt waren, in einem Habitus erhalten sind, der keinerlei Zerstörungstendenzen erkennen ließ. Es stellt sich nun erst recht die Frage der allgemeinen Lösungsdenudation auf Karbonatgestein (vgl. H. WILHELMY 1975; 18 – flächenhafter Kalkabtrag von 15 bis 20 cm für die letzten 10.000 Jahre), und wie dieser nach WNW exponierte Hang während der Kaltzeit einzuschätzen ist. Selbst wenn periglazialer Hangschutt diesem konvex geformten Hang auflagerte (von dem im Bereich der Krustenstandorte heute nichts mehr zu sehen ist), so wäre eine konservierende Wirkung zwar vorstellbar, der auflagernde Schutt und das zirkulierende Grundwasser müßten auf den glatten Krustenoberflächen nach Ansicht des Verfassers doch irgendwelche Spuren hinterlassen. Dazu kommt, daß die Krusten, vom Gesamtprofil gesehen, sich offenbar auf dem Wirtgestein befinden. Das unterhalb der Kruste befindliche Karbonatgestein ist deutlich ausgelaugt (Abb. 2a) und läßt sich zum Teil mit der Hand zerreiben, ein Umstand, der insgesamt gesehen (auch bezüglich Auflagerungsdruck) nicht gerade für eine widerstandsfähige Gesteinsoberfläche spricht. Es ist, wie an anderer Stelle schon angedeutet wurde, fraglich, ob diese Überzüge (um der sonst noch schwierigeren klimamorphologischen Frage auszuweichen) einst als Quellsinterkrusten gebildet wurden, wobei sich an der Datierbarkeit und der Frage der Erhaltung nichts ändern würde.

Es besteht daher ein berechtigter Zweifel, ob die Hangverwitterung mit den nachweisbaren Abtragungsgrößen bei Karsttischen, die aber nicht im geneigten Gelände stehen, verglichen werden kann. Es könnte hier ein Hinweis vorliegen, daß die allgemeine Lösungsdenudation auf Karbonatgestein auch in Kaltzeiten und in humiden Klimaten eine erdenklichst geringe Abtragungsgröße auf geneigtem stabilem Fels dargestellt, solange nicht linearerosiv (zum Beispiel Schratten-Karrenbildung) erodiert werden kann.

Diese Frage muß man sich auch für den Bereich der subterranean Lamellenkrusten vom Typ Kalkberg III stellen. Dieser Krustentyp ist im Murauer und Grazer Paläozoikum (vermutlich auch in den Nördlichen Kalkalpen, die vom Verfasser nur im steirisch-oberösterreichischen Raum intensiver begangen wurden) wesentlich häufiger anzutreffen, wobei, wenn man sie als gesteinspaltenfüllende oberflächennahe Lamellenkrusten identifiziert (somit nach E. RUTTE als Echte subterranean Krusten), man sich auch hier fragen muß, wo die flächenhafte Tieferlegung der geneigten Fels-Hangoberfläche, hier gar durch Hunderttausende Jahre (!) anzusetzen, bleibt. Man muß sich das Zeitverhältnis zu jenen geomorphologischen Besonderheiten, wie mit Schratten versehene antike Steinbrüche oder Baulichkeiten, hier einmal vorstellen.

Der Krustentyp Kalkberg III ist durch den Forstaufschließungsweg, der das Gestein anschneidet, sehr deutlich zu erfassen. Die Klüftigkeit des Kalksteines nimmt schon wenige Meter unter der Oberfläche stark ab. Dies erklärt sich sehr gut am Beobachtungsergebnis von E. RUTTE (1960; 85) an subterranean Krusten Griechenlands, die offenbar gleich aussehen: Die rasche Klufatabnahme ins Gesteinsinnere erklärt sich wohl am besten durch einstige Insolationssprünge des Gesteins (ehemaliger subtropischer Klimabedingungen), die durch die Temperaturabnahme des Gesteins nach innen bald zu erliegen kommt. Diese Klufthäufigkeit ist gänzlich von den tektonisch bedingten Klüften abzugrenzen, Klüften und Bruchzonen, die sich ins Gesteinsinnere mit Anschluß an das Karstsystem fortsetzen und einer krustenbildenden oberflächennahen Wasserzirkulation hinderlich sind. Jene durch Insolation entstandene Spaltenhäufung an der nahen Gesteinsoberfläche erlaubt dem oberflächennah zirkulierenden Niederschlagswasser, nicht nur eine große Karbonatgesteinsoberfläche zu benetzen, sondern auch langsam beziehungsweise länger anhaltend abzufließen und dabei viel Kalziumbikarbonat umzusetzen. Insbesondere in Hitzeperioden kommt es dann an jenen Stellen, wo das zirkulierende Wasser einen besonderen Verdunstungsfront-Standort (hier aber unter Bodenbedeckung) innehat, zur subterranean Lamellenkrustenbildung. Wie Abb. 5 der Probenentnahmestelle Kalkberg III zeigt, kann es hier auch zu Roterdeinschlüssen kommen, die das hohe Alter andeuten. Dennoch lag dieses Krustenstück nur zirka 10 cm unter der Hangoberfläche. Die Frage, wie das Krustenwachstum in die Klüfte weiterschreitet, wenn die subterranean Gesteinsoberfläche immer mehr zementiert ist, erklärt E. RUTTE (1960; 86) mit der Wärmeleitung des Gesteins nach innen. Dadurch sei auch eine relativ rasche Verdunstung im Meterbereich unterhalb der Gesteinsoberfläche gewährleistet. Diese Argumentation für den Bildungsmechanismus hat insofern etwas für sich, als in den überwiegenden Fällen die subterranean Krustenbildung oberflächennah bleibt. Damit stehen wir auch bei diesem Krustentyp vor dem Problem, wie die Verwitterung von Karbonatgesteinshängen zu bewerten ist.

Diese offenbar sehr alten Krusten vom Typ Kalkberg III machen so ganz den Eindruck, daß sie eine einstige, womöglich präglaziale Gesteinsoberfläche verkörpern. Dies würde bei diesen konvexen, zirka 35 Grad geneigten Hangsituationen bedeuten, daß sie zumindest seit dem letzten Interglazial (im Eem wird eine semiaride Klimaperiode für möglich gehalten) kaum zurückverlegt wurden. Wahrscheinlich sind diese Krusten mit Roterdeinschlüssen sogar um ein Vielfaches älter!

Diese Fragestellung der Hangdynamik im Lichte der Oberflächenkrusten als Parameter darf nicht mit ebenen Kalkoberflächen auf Karbonatgestein parallelisiert werden, wo man vor allem im ostalpinen Raum unter 1000 m ü. A. vielfach Gesteinsorgeln mit verfangenen

Roterden finden kann, niemals aber gleichzeitig Oberflächenkrusten. Dort sickert das Wasser in das tektonisch zermürbte kühlere Gesteinsinnere ohne nennenswerte ascendente Vektoren. Es ist bezeichnend, daß gerade auf tertiär gekappten Niveaus des Grazer Berglandes subterrane Krusten fehlen, aber in Hängen und Hangschleppensituationen sie deutlich auftreten.

Wir können damit abschließend feststellen, daß sowohl die eher häufiger anzutreffenden subterranean Oberflächenkrusten vom Typ Kalkberg III als auch insbesondere das Phänomen der seltener anzutreffenden glatten Oberflächenvernarbungen vom Typ Kalkberg I und Kalkberg II, wenn nichts auf die Möglichkeit einer rezenten Exhumierung hindeutet, in deutlichem Widerspruch zu den zu erwartenden exogenen Kräften (hier nachgewiesenermaßen der letzten 45.000 Jahre) stehen. Es ist zu hoffen, daß durch die Problemstellung dieser Arbeit insbesondere im alpinen Raum es zu einer Reaktion kommt, daß Geomorphologen verschiedener Hauptfachrichtungen (Geographen, Geologen, Hydrologen u. a.) bei ihren Kartierungstätigkeiten diesen Karstmikrorelief-Akkumulationsleitformen mehr Aufmerksamkeit widmen, um dieses Problem auf einer noch breiteren Basis erläutern zu können.

#### Literatur

Da die Literatursuche zu Fragen der allgemeinen Oberflächen-Karstdenudation sowie speziell über Mikrorelief-Korrosion und Akkumulation aufwendig war (viele, als physiogeographisch zu bezeichnende Beiträge waren in nichtgeographischen Zeitschriften veröffentlicht), bringt der Verfasser die ungekürzte Liste der eingesehenen Literatur, in der Aussagen zur aufgeworfenen Problematik vorkommen.

- BAUER, F., 1964: Kalkabtragungsmessungen in den österreichischen Kalkhochalpen. – *Erdkunde*, 18, 95–102, Bonn.
- BLACK, E., PASSARGE, S., und RIESER, A., 1926: Über Krustenböden und Krustenbildungen wie auch Roterden, insbesondere ein Beitrag zur Kenntnis der Bodenbildungen Palästinas. – *Chemie der Erde*, 2, 348–395.
- BÖGLI, A., 1961: Karrentische, ein Beitrag zur Karstmorphologie. – *Z. f. Geom.*, Suppl. 2, 4–21.
- BÖGLI, A., 1971: Karstdenudation, das Ausmaß des Korrosiven Kalkabtrages. – *Regio Basiliensis*, 12, 352–361.
- BRUNNACKER, K., 1971: Beobachtungen über Strandterrassen und Berg-Flußflächen in Südost-Spanien. – *Kölner Geogr. Arb.*, Sonderbd., 280–286.
- BRUNNACKER, K., und MANZE, U., 1977: Über das Verhalten der Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotope in Kalkkrusten und Kalkuffen des mediterranen Raumes und der Sahara. – *Z. f. Geom.*, 21, 343–353.
- BÜDEL, J., 1952: Bericht über klimaophologische und Eiszeitforschungen in Nieder-Afrika. – *Erdkunde*, 6, 104–132.
- BÜDEL, J., 1960: die Frostschuttzone Südostspitzbergens. – *Colloquium Geographicum*, 6, Bonn.
- CHOUBERT, G., 1948: Au sujet des croûtes calcaires quaternaires. – *Comptes rendus séances Académie de Sciences Paris*, 226 II, 1630–1631.
- DURAND, J. H., 1963: Les croûtes calcaires et gyps euses en Algérie: formation et âge. – *Soc. géol. France*, Bull. V, 959–968, Paris.
- EICHER, H., 1976: Die Entwässerung des Grebenzenkalkstockes und seine Neukartierung im Kärntner Bereich. – *Carinthia II*, 86, 151–161.
- EK, C., und PISSART, A., 1965: Dépôt de carbonat de calcium par congélation et teneur en bicarbonate des eaux résiduelles. – *Rev. Géomorph. dyn.*, 24, 13–20, Paris.
- FINK, M. H., 1976: Kleinformen des Karstreliefs und ihre Bedeutung für Landschaftsökologie und Karstdenudation. In: *Zum Stand der phänomenologischen und typologischen Karstforschung*. – *Mitt. Österr. Geogr. Ges.*, 118, 211–236.
- FINK, M. H., 1976: Polygenetische Formen im Karst der Ostalpen. In: *Proceedings of the 6th Int. Congress of Speleology*, Bd. II, 141–150, Olomouc.

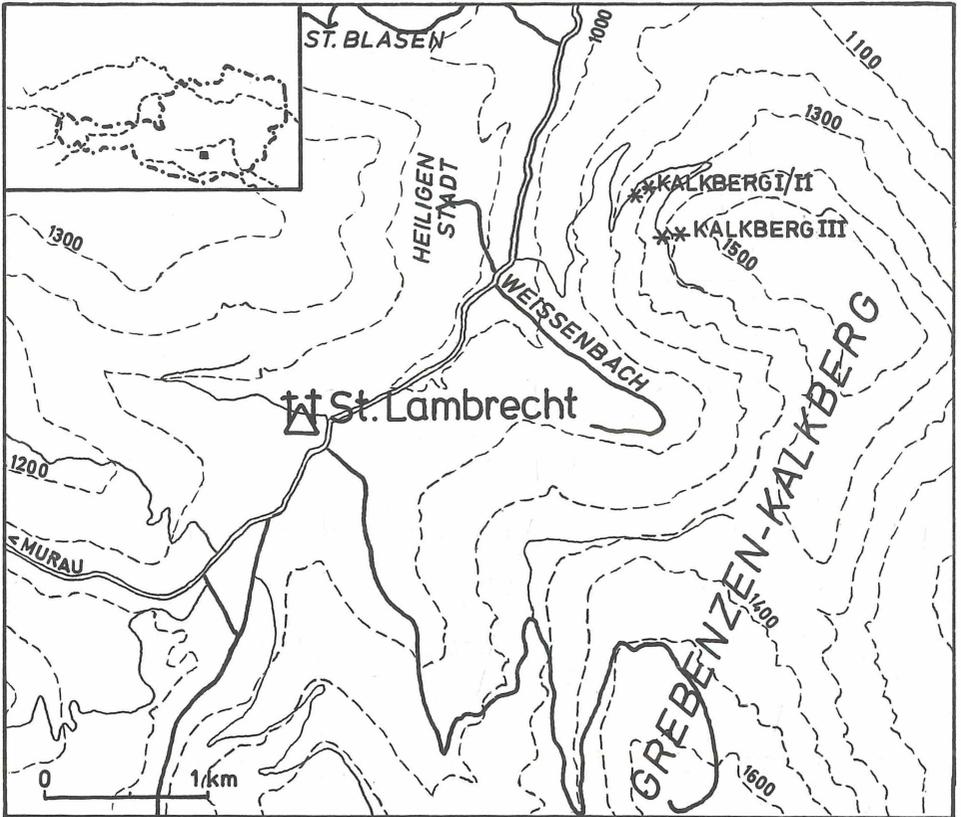


Abb. 1: Die Lage des Untersuchungsgebietes mit den eingetragenen Krustenproben-Standorten Kalkberg I und II (glatte Oberflächenkrusten) sowie Kalkberg III (subterrane Oberflächenkrusten).

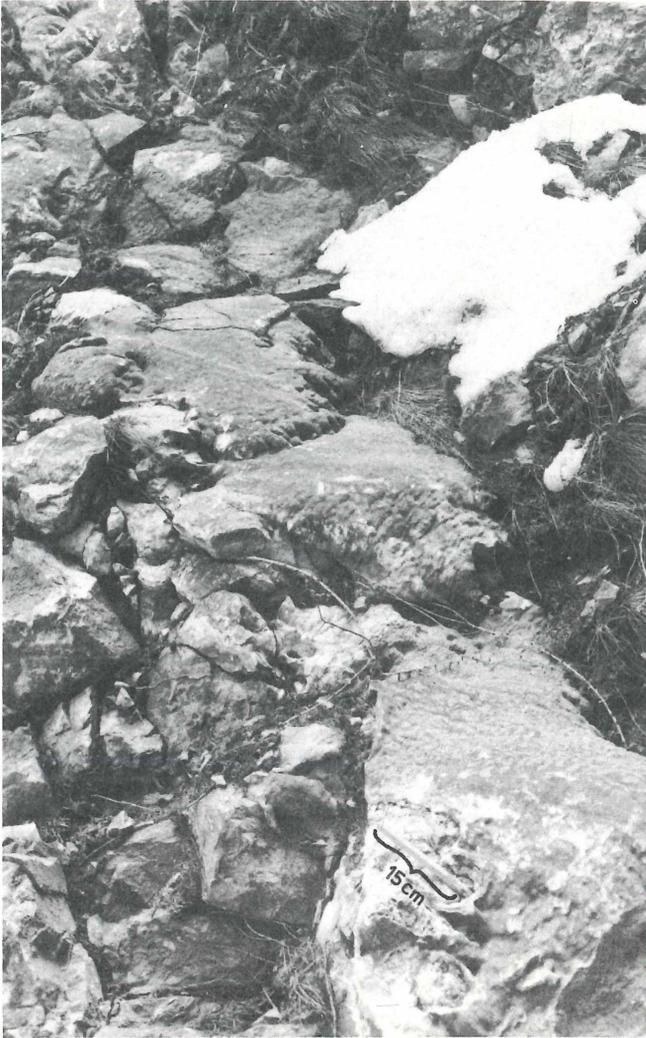
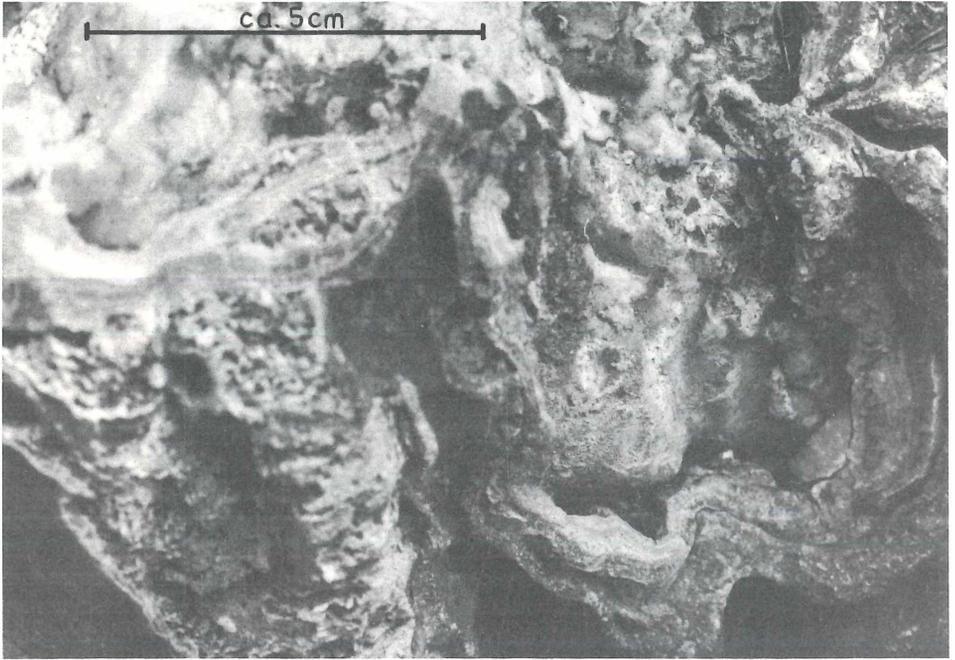


Abb. 2a: Probenentnahmestelle Kalkberg I: Die glatten Oberflächenüberzüge zeigen deutlich, wie sie die einzelnen Gesteinsplatten (ca. 35 Grad geneigt) vernarben (Oberflächenausbügelung) und untereinander verbinden. Aus dieser Entfernung machen sie eher den Eindruck einer inaktiven Quellsinterkruste. Der Meißel (siehe auch Größenvergleich) markiert den Ausschnitt der Abb. 2b.



*Abb. 2b: Die Nabaufnahme zeigt sehr deutlich, daß der unterlagernde Kalkfels ausgelaugt erscheint und offensichtlich das Wirtgestein der Oberflächenkruste darstellt. Diese Kontaktzone kann mit den Fingern zerrieben werden. Die Lamellierung der Oberflächenkruste ist bereits erkennbar.*



*Abb. 3: Die Krustenentnahmestelle Kalkberg II macht einen besonders jugendlichen Eindruck. Bei einem kleinlokal überhängenden Gestein bildeten sich Außenstalaktiten, die auf den ersten Blick den schwarzen rezenten Mullboden einzuschließen scheinen. Erst bei der Zerstörung war erkennbar, daß es hier keinen syngenetischen Zusammenhang gibt.*

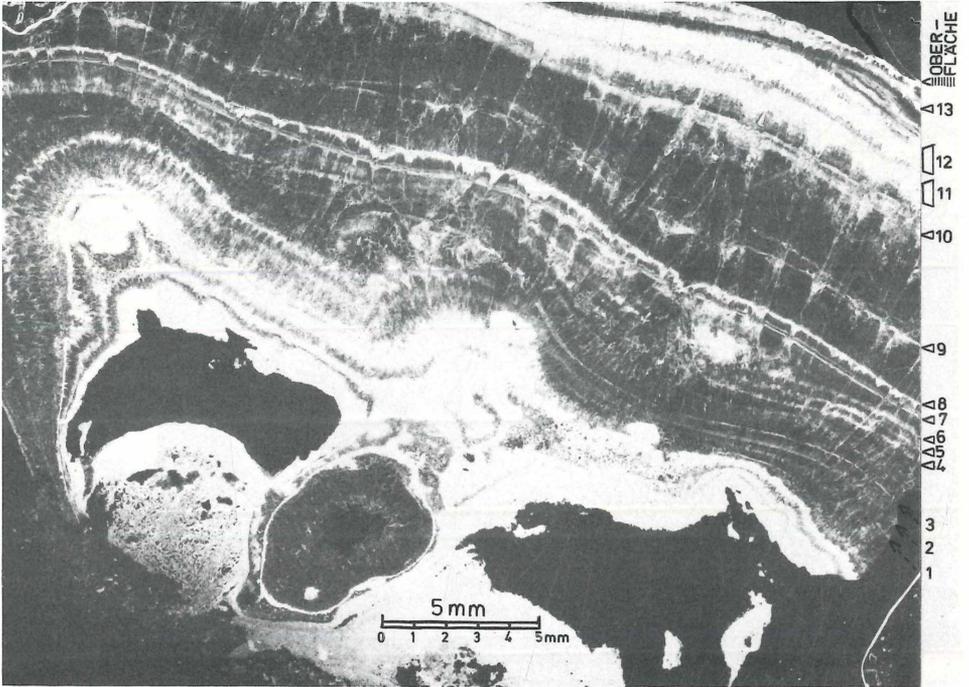


Abb. 4: Dünnschliff (Negativabbildung) der Oberflächenkruste. Die hellen Zonen zeigen die eisenoxydreichen Lamellierungen der einzelnen Krustengenerationen, die sich harmonisch ausbügelnd der ehemaligen Gesteinsoberfläche anpaßten. Die beiderseits der Kalkitdruse als Negativabbildung ausgewiesenen dunklen Flecken stellen den ausgelaugten Gesteinsuntergrund dar. Es war bei diesem Erscheinungsbild einer echten Oberflächenkruste klar, daß bei einer in Aussicht stehenden Datierbarkeit innerhalb der  $^{14}\text{C}$ -Reichweite die einzelnen Krustengenerationen sehr für jene Interpretationserweiterung sprachen, ihren Lamellierungs-Rhythmus mit postglazialen Klimaschwankungen zu parallelisieren. Das den exogenen hangdynamischen Kräften widersprechende Resultat der Radiokarbondatierung schließt auch weiterhin klimamorphologische Zusammenhänge der Krustengenerationskorrelation nicht aus. Durch das hohe Alter außerhalb der  $^{14}\text{C}$ -Reichweite konnten leider einzeln zu trennende Lamellen nicht näher bestimmt werden. Wie aus der äußeren Umschalung zu sehen ist, wuchs auch die Kalkitdruse in zwei Generationen. Die mit Zahlen markierten Horizonte weisen auf die Eisenoxyd-Lamellierungen.

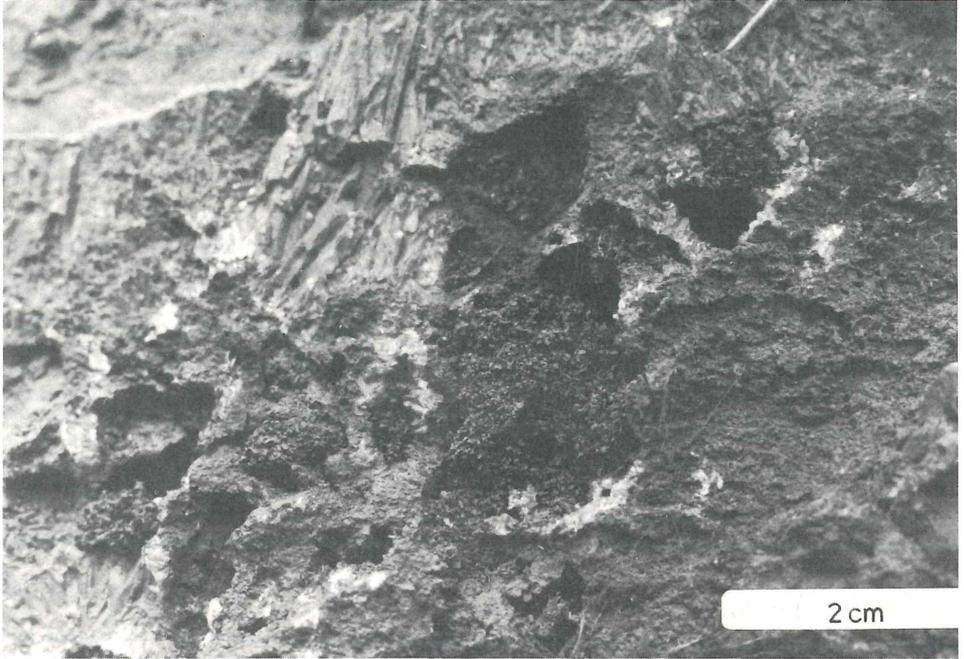


Abb. 5: Nahaufnahme der subterranean Kruste vom Typ Kalkberg III. Diese Form der oberflächennahen Inkrustierung ist auch im Grazer Paläozoikum häufiger anzutreffen. Im Unterschied zu dem nur scheinbar eingeschlossenen Mullboden auf Abb. 3 haben hier die zum Teil sehr großen Kalzitkristalle Teile der zur Zeit ihrer Bildung vorhandenen Roterdeauflage eingeschlossen. Das hohe Alter ist hier eindeutig, wobei der Widerspruch zur allgemeinen Karstdenudation auch hier bestehen bleibt, zumal das Probenstück in einer Gesteinsspalte nur 10 cm unter der Hangoberfläche lag. Die noch mit Roterde gefüllten Höhlen zeigen sich auf der Schwarzweißabbildung in den körnigen dunklen Feldern; sie zeigen sich in der Natur in purpurfarbenem Rot. Daß kryptokristalliner Kalk gänzlich wasserundurchlässig ist, zeigt sich hier auch dadurch, daß die Roterde trotz des hohen Alters keinerlei Zementierung erfahren hat; sie rieselt geradezu juvenil aus den aufgeschlagenen Hohlräumen.

- GAMS, I., 1969: Zur Ergänzung der vergleichbaren Forschungen der Karstkorrosionsintensität. – 5. Congr. Int. Sp. Abh., Bd. II, 1–9, München.
- GAUCHER, G., 1948: Sur certains caractères des croûtes calcaires en rapport avec leur origine. – Comptes rendus séances Acad. Sci. Paris, 227, 154–156.
- GAVRILOVIC, D., 1968: Kamenice – kleine Korrosionsformen im Kalkstein. – Congr. Int. Sp. Actes 4e, Bd. III, Ljubljana, 127–133.
- GERSTENHAUER, A., und PFEFFER, K.-H., 1966: Beiträge zur Lösungsfreudigkeit von Kalkgesteinen. Abh. z. Karst- und Höhlenk., A 2, 46 S., München.
- GEYH, M. A., 1970: Isotopenphysikalische Untersuchungen an Kalksinter, ihre Bedeutung für die  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung von Grundwasser und die Erforschung des Paläoklimas. – Geol. Jb., 88, 149–158, Hannover.
- GEYH, M. A., und JÄKEL, D., 1974: Spätpleistozäne und holozäne Klimageschichte der Sahara aufgrund zugänglicher  $^{14}\text{C}$ -Daten. – Z. f. Geom., 18, 82–98.
- GOLDICH, S. S., 1938: A study in rock-weathering. – J. Geol., 46, 17–58.
- HALVORSON, H. O., und STARKEY, R. L., 1931: Studies on the transformation of iron in nature. – Soil Science, 32, 141–165.
- HASERODT, K., 1969: Beobachtungen zur Karstdenudation an Kluftkarren in glazialüberformten alpinen Bereichen. – Studia geographica, 5, 123–132, Brno.
- HÖLLERMANN, P., 1963: Verwitterungsrinden in den Alpen. – Z. f. Geom., 7, 172–177.
- HÖGBOM, B., 1912: Wüstenerscheinungen in Spitzbergen. – Bull. Geol. Inst. Uppsala, 11, 1–2.
- JAKUCS, L., 1973: (A) The karstic corrosion of naturally occurring limestones in the geomorphology of our age. (B) The role of climate in the quantitative and qualitative control of carstic corrosion. (C) Dynamische Unterschiede des Verkarstungsprozesses in den Mikroräumen. – Europ. Reg. Conf. IGU, Symposium on Karst-Morphogenesis, Papers, 52–208, Szeged.
- KINZL, H., 1975: Die Karsttische – ein Mittel zur Messung des Kalkabtrags. – Mitt. Österr. Geogr. Ges., 117, 290–302.
- KLUTE, F., und KRASSER, L., 1940: Über Wüstenlackbildung im Hochgebirge. – Pet. Geogr. Mitt., 86, 21–22.
- KNETSCH, G., 1937: Beiträge zur Kenntnis von Krustenbildungen. – Z. dt. geol. Ges., 89, 177–192, Berlin.
- KULKE, H., 1974: Zur Geologie und Mineralogie der Kalk- und Gipskrusten Algeriens. – Geol. Rdsch., 63, 970–998, Stuttgart.
- KNETSCH, G., 1960: Über aride Verwitterung unter besonderer Berücksichtigung natürlicher und künstlicher Wände in Ägypten. – Z. f. Geom., Suppl. 1, 190–205.
- KREJCI-GRAF, K., 1960: Krustenkalke. In: 4. Zur Geologie der Makaronesen. – Z. dt. geol. Ges., 89, 177–191, Berlin.
- KRUMBEIN, W. E., 1969: Über den Einfluß der Mikroflora auf die exogene Dynamik (Verwitterung und Krustenbildung). – Geol. Rdsch., 58, 333–365.
- KULKE, H., 1974: Zur Geologie und Mineralogie der Kalk- und Gipskrusten Algeriens. – Geol. Rdsch., 63, 970–998, Stuttgart.
- LABEYRIE, J., DUBLESSY, J., DELIBRIAS, C., und LETOLLE, R., 1967: Etude des températures des climats anciens par la mesure de  $^{18}\text{O}$ , du  $^{13}\text{C}$  et du  $^{14}\text{C}$  dans les concrétions des cavernes. – Radioactive Dating and Methods of Low-Level-Counting, 153–160, IAEA Wien.
- MENSCHING, H., 1955: Das Quartär in den Gebirgen Marokkos. – Pet. Geogr. Mitt. Erg.-H., 256, 79 S, Gotha.
- MÜNNICH, K. O., und VOGEL, J. C., 1963: Untersuchungen an pluvialen Grundwässern der Ostsahara. – Geol. Rdsch., 52, 611–624.
- MÜNNICH, K. O., ROETHER, W., und THILO, L., 1967: Dating of Groundwater with Tritium and  $^{14}\text{C}$ . – Isotopes in Hydrology, 305, IAEA Wien.
- PASSARGE, S., 1910: Verwitterung und Abtragung in den Steppen und Wüsten Algeriens. – Verh. d. 17. Geographentages Lübeck 1909, Berlin.
- PENCK, A., 1912: Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeographischer Grundlage. – Sitz.-Ber. Preuß. Akad. d. Wiss.
- ROHDENBURG, H., und SABELBERG, U., 1969: Kalkkrusten und ihr klimatischer Aussagewert. Neue Beobachtungen aus Spanien und Nordafrika. – Göttinger Bodenkundl. Ber., 7, 3–26, Göttingen.
- RUELLAN, A., 1970: Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes: Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya (Maroc or.). No. d'enregistrement au CNRS AO 4086, Thèse Présentée à la fac. de sciences de l'Univ. de Strasbourg, 482 S.
- RUTTE, E., 1958: Kalkkrusten in Spanien. – N. Jb. Geol. u. Paläontol. Abh., 106, 52–138.
- RUTTE, E., 1960: Kalkkrusten im östlichen Mittelmeergebiet. – Z. dt. geol. Ges., 112, 81–90.

- SCHEFFER, F. B., MEYER, B., und KALK, E., 1963: Biologische Ursachen der Wüstenlackbildung. – Z. f. Geom., 7, 112–119.
- SZABO, P. Z., 1964: Neue Daten und Beobachtungen zur Kenntnis der Paläokarsterscheinungen in Ungarn. – Erdkunde, 18, 135–142.
- TRIMMEL, H., 1971: Das Phänomen der Karsttische (Karrentische) – ein Beitrag zu den Problemen einer einheitlichen Karstterminologie. – Die Höhle, 22, 4, Wien.
- VOGT, T., 1977: Croûtes calcaires quaternaires de période froide en France méditerranéenne. – Z. f. Geom., 21, 26–36.
- WAGNER, E., und SCHWARTZ, W., 1965: Untersuchungen über die mikrobielle Verwitterung von Kalkstein im Karst. – Z. f. Allg. Mikrobiologie, 5, 52–76.
- ZAHN, G. W., 1930: Wüstenrinden am Rande der Gletscher. – Chemie der Erde, 4, 145–156.
- ZWITTKOVITS, F., 1969: Alters- und Höhengliederung der Karren in den Nördlichen Kalkalpen. – Geol. Rdsch., 58, 378–394.
- WILHELMY, H., 1975: Kleinformen des Karstes. In: Exogene Morphodynamik/HIRTs Geomorphologie in Stichworten III, 16–19.

### *Zusammenfassung*

Die Arbeit behandelt Beobachtungsergebnisse, wonach Oberflächenkrusten auf Karbonatgesteinsbasis in Hang- und Hangschleppensituationen gefunden wurden, nicht aber auf ebenen Oberflächen. Dies wird durch eine spezielle oberflächennahe Wasserzirkulation und mit der nach außen zunehmenden Kluftdichte begründet. An einem ausgesuchten Hang (Grebzenkalkstock des Murauer Paläozoikums: 14° 20' E Greenwich/47° 05' N) wurde nicht nur ein subterranean Oberflächenkrustentyp erklärt und sein Alter (Kalkberg III) zumindest ins Präwürm gestellt, es wurden als besonderes Phänomen glatte Oberflächenkrusten einer speziellen Untersuchung unterzogen (Kalkberg I, Kalkberg II). Nach einer Darstellung des Typs und einer Parallelisierung mit ähnlichen Beschreibungen aus der Literatur waren diese Krusten als sogenannte Echte Krusten (an der freien Oberfläche gebildet) einzustufen, womit sich bei einem hohen Alter ein Widerspruch zu den exogenen hangdynamischen Kräften ergibt. Radiokarbondatierungen des Instituts für Umweltphysik in Heidelberg ergaben durch den festgestellten Nulleffekt der Zählrohre an zwei aufbereiteten Proben ein Alter von jedenfalls mehr als 45.000 Jahren BP. Eine ausführliche Literaturliste bringt den derzeitigen Stand des Schrifttums zu Fragen der Karstmikrorelief-Korrosion und Akkumulation.

### *Abstract*

Calcareous crusts as a glossy coating on limestone-slopes are investigated (Grebzenkalkstock/Austria: 14° 20' E Greenwich/47° 05' N). These crust-sources are not exhumated to surface by soil erosion, they are in contradiction to the exogen slope dynamics of general denudation (H. WILHELMY 1975; 18 estimated 15–20 cm of slope-surface-reduction in 10.000 years). The process of crust development is explained with rainfall-infiltration, circulating only near the surface: There is water in small but open fractures usually abundant only near the ground surface, which causes cryptocrystallin crusts as a result of evaporation under once existing arid atmospheric conditions.

According to the results of isotope-physical date-investigations of some crust test pieces (done in the institute of Umweltphysik Heidelberg in Germany with a posterior probability of 45.000 years BP), the author comes to conclusion, that the crusts have been crystallized in an pre-würmian (weichselian) age (Eem at least). None the less, the general ideas of a very small sheet of karst-denudation have been determined by the layout of these radiocarbon dating results – the geomorphological problem still exists.

Anschrift des Verfassers: Dr. Harald Eicher, Institut für Geographie der Universität Graz, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [24\\_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Eicher Harald

Artikel/Article: [Oberflächenkrusten auf Karbonatgestein als Problem des flächenhaften Kalkabtrags der allgemeinen Karstdenudation 33-49](#)