

Über den Einfluß der Mikroflora auf die exogene Dynamik (Verwitterung und Krustenbildung)¹⁾

VON WOLFGANG E. KRUMBEIN, Würzburg *)

Mit 16 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung

Geomikrobiologische Untersuchungen können zur Klärung vieler ungelöster Fragen des exogenen Kreislaufes der Elemente beitragen. Mikrobiologische Verwitterung und Krustenbildung finden in allen Klimabereichen der Erde statt, wobei der Einfluß der Mikroflora mehr oder weniger groß ist und von Fragen der Mikroenvironments und der beteiligten Arten abhängt. Zum Beispiel können Flechten vorwiegend gesteinschützend (humides Klima) wirken oder tiefgreifende Zerstörungen (arides Klima) verursachen, je nach den angetroffenen edaphischen Bedingungen. Bei Untersuchungen zur Frage der Verwitterung und Krustenbildung im Negev (Israel) wurde festgestellt, daß das schwankende Gleichgewicht zwischen Oberflächenzerstörung, -konservierung oder -verkrustung in vielen Fällen durch die immer anwesende Mikroflora gesteuert wird. Die speziellen Licht- und Feuchtigkeitsbedingungen in ariden Gebieten begünstigen in besonderem Maße die Entwicklung eines Pionieredaphons aus Flechten, Blaualgen und Pilzen.

Die Verwitterung anstehender Kalke und der sogenannten Wüstenpflaster (desert pavements) wird durch „biologische Lösungsfronten“ eingeleitet und gesteuert, an denen Strauchflechten, Krustenflechten, endolithische Flechten, isoliert lebende hypolithische, chasmolithische und endolithische Algen (insbes. Cyanophyceen), Pilze und Bakterien beteiligt sind. In den Bereichen größter Verwitterungsintensität leben gleichzeitig die größten Mikroorganismenpopulationen. Auch die Entstehung von Eisen-Mangan-Krusten (Wüstenlack) im Negev und verschiedenen anderen Bereichen wird auf die Tätigkeit von eisen- und manganfällenden Flechten, Algen, Pilzen und Bakterien zurückgeführt. Da diese Eisen-Mangan-Fällungen weltweit verbreitet und in ihrer Ausbildung nur wenig unterschieden sind, können sie nicht als paläoklimatische Indikatoren verwendet werden.

Die Vorgänge von Lösung und Fällung in ariden Gebieten, die bisher durch das Wechselspiel zwischen Erhitzung und Abkühlung sowie Befeuchtung und Evaporation gedeutet wurden, werden zumindest in großen Teilen der heutigen Wüsten stark durch das mikrobiologische Pionieredaphon beeinflusst. Die

¹⁾ Für freundliche Hilfe bei den Arbeiten in Israel danke ich besonders Prof. Dr. M. EVENARI, Prof. Dr. Y. K. BENTOR, Prof. Dr. M. SHILO, Prof. Dr. L. PICARD, Z. GARFUNKEL und A. KATZ.

Für technische Hilfe danke ich U. GRÜTZE und C. TADDAY. Für die Reise standen mir Zuschüsse von der DFG zur Verfügung.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. W. E. KRUMBEIN, Biologische Anstalt Helgoland, Meeresstation, 2192 Helgoland.

Aufsätze

heftige mikrobiologische Manganfällung, die im Bereich der meisten untersuchten Eisen-Mangan-Krusten nachgewiesen wurde, erklärt zwanglos die häufigen anormalen Schwankungen im Eisen-Mangan-Verhältnis sowie die Anreicherung dieser Elemente auf Gesteinen, die nahezu eisen- und manganfrei sind.

Abstract

Geomicrobiological investigations contribute to the solution of many open problems concerning the cycle of elements (i. e. weathering and deposition of minerals). Microbial weathering and crust development take place in all regions and under all climates of the earth. The part which the microflora takes in the whole process is dependant on microclimate, environment and composition of the rocks concerned. E. g. lichens in humid climates usually protect rocks from weathering while the same organism is one of the most effective deterioration agencies under arid climatic conditions.

During some investigations in the Negev (Israel) we found that the instable equilibrium between surface corrosion, surface conservation and crust development is often controlled by microbial activities. The special conditions of light and humidity in desert regions favour especially the development of lichens, blue-green algae and fungi.

The weathering of outcropping limestones and of the rocks of desert pavements is initiated and directed by "biological solution fronts", which are composed of hypolithic lichens, endolithic lichens, hypolithic, chasmolithic and endolithic algae, fungi and bacteria. Regions of extreme weathering on the stones are simultaneously the places of the largest microbial populations. The development of iron-manganese-crusts (i. e. desert varnish) in the Negev (Israel) and in different regions of all climates is proved to be often connected to microbial activities. Lichens, algae and some special fungi and bacteria which precipitate Manganese and iron have been isolated from 11 samples of iron-manganese-crusts. Since these phenomena are world-wide distributed, they cannot be regarded as paleoclimatic indicators.

The processes of solution and precipitation in arid regions, which have been regarded until now as purely physico-chemical (heating and cooling, wetting and evaporation) have improved to be very often influenced by microbial activities. The intensive precipitation of Mn by microorganisms which live within iron-manganese-crusts explains the abnormal fluctuations of Fe/Mn-ratios in iron-manganese-crusts (desert varnishes) and the enrichment of iron and Manganese on rocks, which are nearly free of these elements.

Résumé

Les recherches géomicrobiologiques peuvent résoudre plusieurs questions indécises du cycle exogène des éléments. L'altération microbiologique et le développement des croûtes influencé par des microorganismes ont lieu partout dans le monde. L'influence de la microflore dépend du milieu et des espèces participantes. Les lichens par exemple peuvent être protectants (climat humide) ou bien détériorants (climat aride) dépendant des conditions concernées.

Pendant des recherches sur l'altération et le développement des Croûtes au Négév (Israel) nous avons constaté que l'équilibre instable entre détérioration et conservation des surfaces et le développement des croûtes est souvent contrôlé par la microflore exo- et endolithique. Les conditions spéciales de lu-

mière, température et humidité dans les régions désertiques sont souvent extrêmement positives pour lichens, algues bleu-vertes et champignons.

L'altération des calcaires en place et sur les hammada (desert pavement) est souvent déclenchée et contrôlée par des « zones de solution biologique » qui pénètrent les pierres. Ces zones de solution sont composées de lichens de surface, lichens endolithiques, algues hypolithiques, chasolithiques et endolithiques, par champignons et bactéries. Dans les régions d'altération intensive la microflore est la plus nombreuse. Le développement des croûtes manganéo-ferrugineuses au Négév (Israël) et ailleurs est produit souvent par des lichens, champignons et bactéries qui précipitent fer et manganèse. En 11 parmi 14 échantillons nous avons isolé des organismes (champignons et bactéries) qui précipitent du manganèse en culture de laboratoire. Parceque ces croûtes de fer et manganèse sont distribuées partout sur le monde entier on ne peut pas les comprendre comme indices de paléoclimatologie.

Les processus de solution et précipitation en zones arides, qu'on a compris jusqu'à présent comme résultat d'insolation et d'évaporation, sont au moins partiellement produits par la microflore abondante. La précipitation intensive de manganèse par la microflore des croûtes manganéo-ferrugineuses explique aisément les fluctuations anormales des proportions Fe/Mn dans les croûtes et l'enrichissement de ces éléments sur des roches qui ne contiennent pas de fer et manganèse.

Краткое содержание

Геомикробиологические исследования могут способствовать разъяснению многих нерешенных вопросов внешней циркуляции элементов. Микробиологическое выветривание и образование коры выветривания имеют место во всех климатических областях Земли, причем влияние микрофлоры более или менее выражено и зависит от микросреды, в которой прибывают данные виды. Например, лишайники, в зависимости от условий, могут действовать как породозащищающие (гумидный климат), или же производить глубоко идущее преобразование пород (аридный климат). Исследовали образование коры выветривания в пустыне Негев (Израэль) и взаимодействие на породу физических, химических и биохимических факторов, причем установили преобладание последнего фактора. Особые условия инсоляции и влажности аридных областей способствуют развитию почвенных микроорганизмов (лишайников, синезеленых водорослей и грибов), которые первыми заселяют эти области. Выветривание известняков и пустынных мостовых (desert pavements) возникает и регулируется биологическими процессами, в которых наибольшую роль играет жизнедеятельность различных лишайников, водорослей, грибов и бактерий. В областях самой большой интенсивности выветривания встречаются наиболее обширные популяции микроорганизмов. Образование железных и марганцевых кор выветривания в пустыне Негев и различных других областях также регулируется биохимической деятельностью лишайников, грибов, водорослей и бактерий. Хотя такое концентрирование железа и марганца широко распространено, процесс сам по себе изучен очень мало: поэтому его нельзя рассматривать, как индикатор палеоклимата. В заключении обсуждается значение микроорганизмов для процессов концентрирования и растворения элементов (Fe + Mn) в аридных областях, которые до сих пор объяснялись, как результат взаимодействия между нагреванием и охлаждением, а также увлажнением и испарением. Интенсивное накопление марганца микроорганизмами, обнаруженное в большинстве участков исследованной коры выветривания, содержащей железо и марганец, объясняет часто наблюдаемые аномалии соотношения железа и марганца и накопления последнего в породах, почти что свободных от железа.

I. Einleitung

Verwitterung und Krustenbildung, zwei ungleichsinnige aber engverknüpfte Entwicklungen der exogenen Dynamik wurden in der Geschichte der Geologie und Geomorphologie — abgesehen von Hinweisen auf Sprengwirkungen durch Baumwurzeln und Lösungserscheinungen unter makroskopisch sichtbaren Flechten und Algenbelägen (Tintenstriche) — im allgemeinen als klimatisch und physikalisch-chemisch gesteuerte Prozesse gedeutet. Dieses Bild hat sich in den letzten Jahren erheblich gewandelt. Obschon bereits früher vereinzelte Arbeiten (BASSALIK, 1913; BLÖCHLIGER, 1931; PAINE & LINGOOD, 1933) auf den Einfluß der Mikroflora auf Verwitterungsvorgänge hinwiesen, galten weiterhin die klassischen Schemata für den Zerfall der Gesteine und die Landschaftsformung.

Mit dem Einsetzen gezielter „geomikrobiologischer“ Untersuchungen (ZO BELL, 1936; POCHON et al., 1946; SCHWARTZ, 1953; KUZNETSOV, 1962) wurde neben anderen Problemen auch die Frage der Gesteinsverwitterung von mikrobiologischer Seite behandelt.

Die zahlreichen auf dem Gebiet der Geomikrobiologie erscheinenden Arbeiten bringen die Allgegenwart der Mikroorganismen deutlich zum Ausdruck. Heute wissen wir, daß Mikroorganismen nicht nur in allen Bereichen der Erdkruste von der Stratosphäre bis in größere Tiefen der Kruste existieren können, sondern auch die dort ablaufenden dynamischen Prozesse beeinflussen. Das Vorhandensein von Mikroorganismen wird nach den heutigen Erfahrungen nur durch folgende Parameter begrenzt: 1. Die Temperatur darf 140—150° C nicht für längere Zeit überschreiten; 2. für ein Aufrechterhalten der Stoffwechselfunktion muß eine minimale Menge an Wasser vorhanden sein. Der Druck, das Nährstoffangebot und andere Faktoren wie pH-Wert oder Redoxpotential können zwar viele Mikroorganismen behindern, aber nicht zur Keimfreiheit führen. Selbst wenn kein Wasser mehr zur Verfügung steht, können noch Dauerformen lange Zeiträume überleben (ZO BELL & MORITA, 1956; POCHON & BARJAC, 1958). Mit sehr geringen Wassermengen (unter 0,5%) ist aber nicht nur ein Überleben möglich, sondern die reiche Entfaltung von Pionierfloren der verschiedensten Arten. SCHWABE (1963), CAMERON (1964) und FRIEDMANN (1964) berichten über das Pionieredaphon arider Gebiete, KRUMBEIN (1966b) über die Besiedlung von Bauwerken unter extremen Mikroklimaten.

Dabei ist es nicht so, daß sich auf nährstoffarmen und trockenen Standorten eine kümmerflora entwickelt, es können äußerst artenreiche Gesellschaften auftreten. Die früher häufig zitierte „Besiedlungsfolge“ des „nackten“ Gesteines trifft in den meisten Fällen ebenfalls nicht zu. Die Aufeinanderfolge von zunächst „autotrophen“ Flechten und Algen, die dann von heterotrophen Pilzen und Bakterien gefolgt werden, wird von zwei Seiten eingeschränkt. 1. Wird der Begriff der Autotrophie immer fragwürdiger, 2. wird es immer deutlicher, daß selbst magmatische Gesteine in 200 m Tiefe genügend organisches Material enthalten können, um einer differenzierten heterotrophen Flora Lebensraum zu bieten. Die Menge an organischem Material, die in Sedimentgesteinen nach der Diagenese erhalten

blieb, reicht in den meisten Fällen zur Besiedlung aus, wenn entsprechende mikroklimatische Bedingungen sich einstellen, oder das environment (pH, Rh) für eine Neubesiedlung günstig ist.

Wieweit Bakterien, Pilze und Algen Bereiche verseuchen können, die allgemein als lebensfeindlich gelten, beweisen z. B. die Erfahrungen mit der Grotte von Lascaux (LEFEVRE et al., 1964), in der die Keimzahlen in der Luft die Werte in einer vollbesetzten Straßenbahn und in den sich auf den Wänden neubildenden Kalktuffen die Keimgehalte normaler Ackerböden weit übertrafen (KRUMBEIN et al., 1964). Dies führte zu erheblichen Änderungen der Mineralumsätze und zu schweren Schädigungen der Malereien. Daß Mikroorganismen erheblichen Einfluß auf geologische Vorgänge haben können, beweisen Arbeiten über den Schwefelkreislauf (KRASSILNIKOFF, 1951; POSTGATE, 1960; KRUMBEIN & POCHON, 1964 u. a.) oder über Lösung und Fällung von Mineralen (z. B. SILVERMANN et al., 1964) oder Erdölmikrobiologie (DAVIS, 1967).

Den Einfluß von Bakterien und Pilzen auf den Abbau von silikatischen Mineralen, die nach der Abrasionsskala von GOLDICH (1938) äußerst verwitterungsbeständig sind, bewiesen MÜLLER et al. (1963), POHLMANN & OBERLIES (1958) u. a. WAGNER & SCHWARTZ (1966) und KRUMBEIN (1966 b) erarbeiteten quantitative Werte über die mikrobiologische Verwitterungsgeschwindigkeit. In einer Untersuchung über die Ökologie gesteinsbewohnender Mikroorganismen (KRUMBEIN 1966 b) konnte gezeigt werden, daß mikroklimatische Bedingungen einen erheblichen Einfluß auf die Art der Besiedlung und die Besiedlungstiefe von Bauwerken haben. An einigen extrem exponierten Gebäudepartien in Würzburg (Unterfranken) kam es dabei zu Bedingungen, die sich nur mit ariden Klimaten vergleichen ließen; da an diesen Gebäudeteilen neben Verwitterungserscheinungen auch Krustenbildungen auftraten, erhob sich die Frage, ob auch Krustenbildungen eventuell mikrobiologisch beeinflusst sein könnten.

Auf einer Forschungsreise in den Negev (Israel) erhielt ich Gelegenheit, diese Erscheinungen in größerem Maßstab zu studieren.

Für die Untersuchungen an Eisen-Mangan-Krusten wurde später Material aus anderen ariden Gebieten und aus humiden Klimabereichen hinzugezogen. Über die Ergebnisse der Untersuchungen an Kalkkrusten wird an anderer Stelle berichtet (KRUMBEIN, 1968).

II. Methoden

Die unter sterilen Bedingungen entnommenen Gesteinsproben wurden im Labor unter chemischen und mikrobiologischen Gesichtspunkten bearbeitet (Aufschlüsse über die Art der Besiedlung und den Chemismus gab bereits die Betrachtung mit der Stereolupe und die Untersuchung von Lackfilmen und Dünnschliffen mit dem Mikroskop).

a) mikrobiologische Methoden

Die Keimzahlbestimmungen wurden auf flüssigen Nährböden nach der MPN (most probable number)-Methode, auf festen Nährböden durch Auszählung der optimalen Verdünnung durchgeführt. Die Gesamtkeimzahl

wurde auf Bodenextrakt bestimmt; für Pilze wurde ein Nährboden nach POCHON und TARDIEUX verwendet, für die Algen wurden mehrere Nährböden getestet, die an anderer Stelle publiziert wurden (KRUMBEIN, 1968). Die Nährböden für die Keimzahlbestimmungen des Stickstoff-, Schwefel- und Kohlenstoffkreislaufes wurden in KRUMBEIN (1966 b) zusammengestellt. Für die Isolation von Mangan fällenden Mikroorganismen wurde folgender Nährboden (modifiziert nach BROMFIELD, 1956) verwendet:

K_2HPO_4 : 0,05 g; $MgSO_4 \times 7 H_2O$: 0,02 g; $(NH_4)_2SO_4$: 0,1 g; $Ca_3(PO_4)_2$: 0,1 g; $MnSO_4 \times 4 H_2O$: 0,02 g; Merck Hefeextrakt : 0,02 g; a. dest. auf 1000 ml.

Der Nährboden wurde flüssig und fest (2% Difco Agar) verwendet. Ein 2. Nährboden zur Manganfällung wurde mit derselben Mineralzusammensetzung jedoch mit 0,01 g Saccharose und 0,01 g Hefeextrakt und 75 000 γ Streptomycin/Liter verwendet.

Die Oxydation von Eisen läßt sich in aeroben Medien nur schwer kontrollieren, so daß nur einige orientierende Versuche mit den isolierten Algen durchgeführt wurden.

Wie schon früher (KRUMBEIN, 1968) ergaben sich Schwierigkeiten bei der Ankultur der Algen und der Bestimmung der Algenzahl, da die Algen arider Standorte besonders langsam anwachsen und selbst auf völlig mineralischen Nährböden häufig von begleitenden Pilzen überwuchert werden. Einigen Nährböden wurde Cyanocobalamin zugesetzt, ohne daß sich nennenswerte Unterschiede in der Zahl der anwachsenden Algen ergaben. Da es schwer möglich war, die Keimzahlen auf Oberflächeneinheiten zu beziehen, wurde auch im Fall flächig ausgedehnter Proben die Keimzahl auf Gramm Trockenmaterial bezogen. Die isolierten Algen werden in Kultur gehalten und sollen noch genauer bestimmt werden (eingehende systematische Untersuchungen an Algen des Negev liegen jedoch bereits von FRIEDMANN, 1967, vor).

b) chemische Methoden

Von einem Teil der 40 gesammelten Proben wurden Bauschanalysen durchgeführt, wobei auf die Bestimmung der Alkalien verzichtet wurde, da diese unter 0,01% lagen.

Si, Mn, Fe, Al, Ca und Mg wurden in salzsaure Lösung überführt und auf einem Atomadsorptionsspektrometer der Firma Perkins u. Elmer bestimmt. Ca und Mg wurden später komplexometrisch, Si, Fe, Mn kolorimetrisch bestimmt, wobei sich bei Kontrollproben eine Verschiebung der Werte der Erdalkalien ergab. Da die Werte der Erdalkalien durchweg um 0,5—1% höher lagen, konnte der Fehler vernachlässigt werden.

Die Untersuchungen wurden zum Teil im Institut für chemische Bakteriologie der Hadassah (Jerusalem), im Geologischen Institut der Hebrew University (Jerusalem), im Geologischen Institut der Universität Würzburg und in der Biologischen Anstalt Helgoland durchgeführt. Ein Vergleich der Keimzahlbestimmungen direkt nach der Probennahme in Israel und nach dreiwöchigem Transport der Proben im Auto ergab nur in Einzelfällen signifikante Unterschiede, die sich auf heterotrophe Bakterien beschränkten.

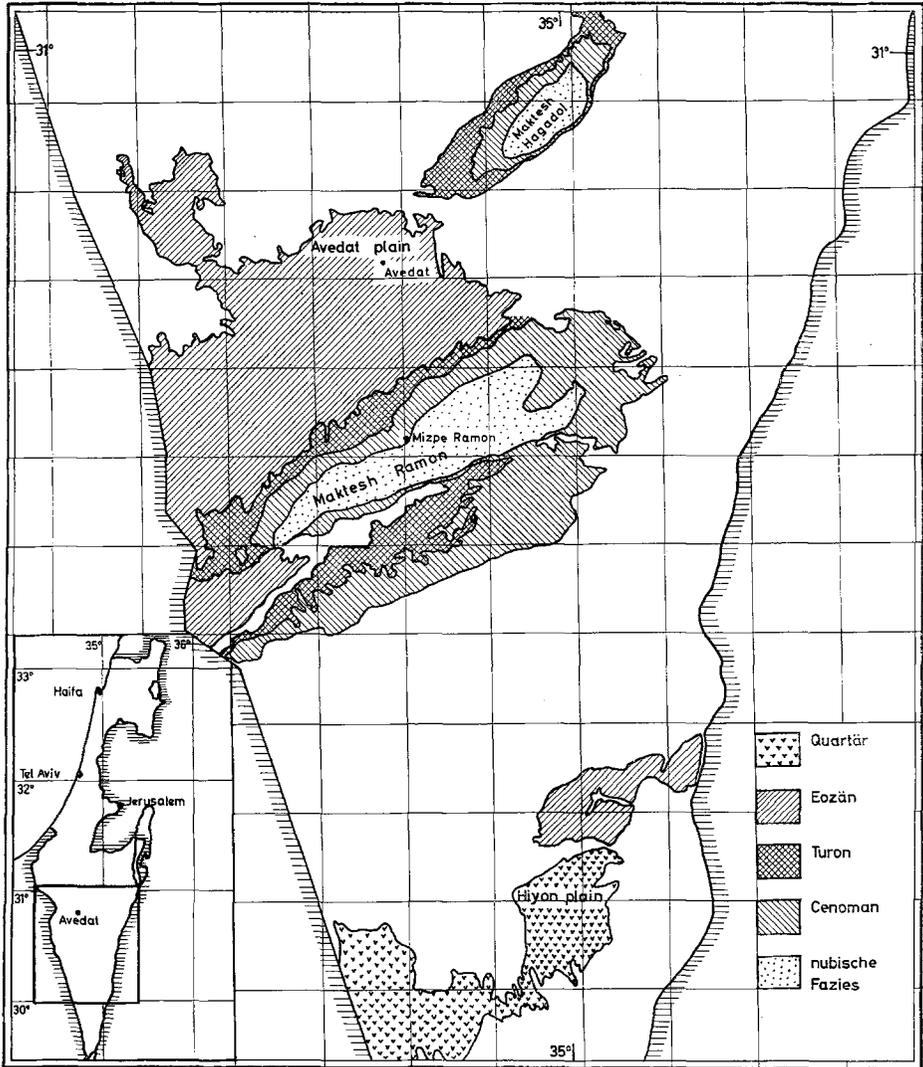


Abb. 1. Übersichtskarte mit teilweise eingetragener Geologie des Arbeitsgebietes in Israel (Maßstab 1 : 250 000).

III. Arbeitsgebiete und Probennahme

Die Geländeuntersuchungen fanden zum größten Teil im Negev (Israel) statt. In der beiliegenden schematisierten Kartenskizze mit auszugsweise eingetragener Geologie (Abb. 1) wurden die Hauptgebiete, aus denen die Proben stammen, eingetragen. Die 100 mm Isohyete verläuft n. des Kar-

tenausschnittes, die 50 mm Isohyete würde das Gelände ungefähr in NE—SW halbieren. Die eingehendsten Geländebegehungen fanden in der eozänen „Avedat plain“ statt, in der in den Kalken des mittleren und oberen Mitteleozäns ausgedehnte, teilweise silifizierte Riffkomplexe auftreten. Die Verwitterung dieser Kalke ist selektiv mikrobiologisch, während die unterlagernden weichen Mergel und Kreiden des Unteren Mitteleozäns und Untereozäns mit eingeschalteten Hornsteinbändern vor allem durch Salzverwitterung und Abrieb zerstört werden.

Inwieweit die Salzverwitterung durch Sulfat- und Nitratabscheidende Bakterien begünstigt wird, wurde hier nicht untersucht. Im Falle eines Tafoni (Aushöhlung) in der Shivta-Formation (Turon) war die Salzbildung jedoch auf N-oxydierende Organismen zurückzuführen.

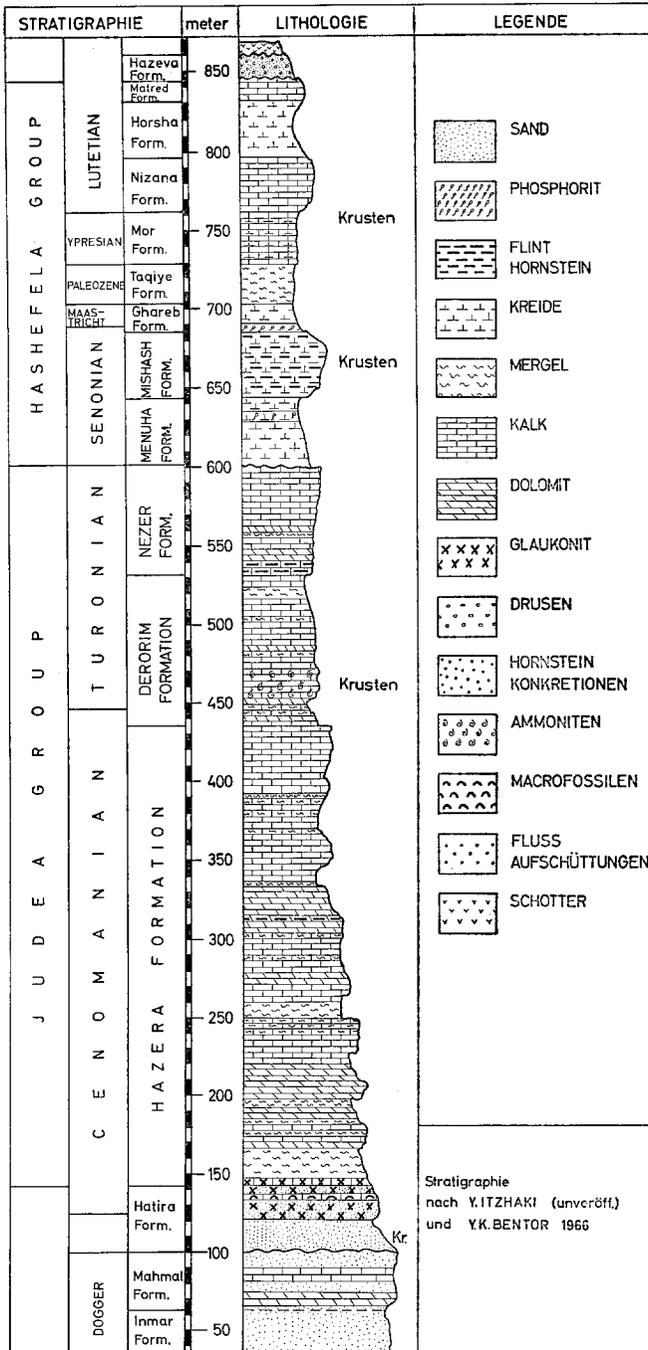
Weitere Proben stammen aus den großen Erosionskratern (Makteshim) des Negev; 1. M. Hagadol (vor allem Cenomankalke), 2. Maktesh Ramon (jurassische und cenomane Sandsteine der nubischen Fazies). Vergleichsproben wurden in einem weiteren Vorkommen von eozänen Riffen s. des Maktesh Ramon gesammelt. Proben des Mishashffints (Campan) wurden se. des M. Hagadol und s. des M. Ramon gesammelt. Weiterhin entstammen viele Proben mit interessanten Verwitterungserscheinungen und Krustenbildungen den Steinpflastern der „desert pavements“ in der Nähe von Avedat, und im Süden in der Hiyon plain sowie von Bereichen sw. des Timnamassivs und Kristallins von Elath (Rotes Meer). Eisen-Mangan-Krusten und Kalkkrusten wurden jedoch auch außerhalb der Kartenskizze in der Gegend von Jerusalem, in Galliläa und auf den Höhen des Golan beobachtet.

Die Probennahme im Gelände für mikrobiologische Zwecke erfolgte mit Hilfe von am Propanbunsenbrenner sterilisierten Geräten in mitgebrachten sterilen Kölbchen oder in Aluminiumfolie.

Die Proben wurden während der Gelandearbeiten im Kühlschrank der Versuchsfarm der Hebrew University bei Avedat (run-off-Landwirtschaft) gelagert. Die mikrobiologische Bearbeitung erfolgte 10 Tage nach der Entnahme der ersten Probe. Für die Isolation der Algen ist der Zeitpunkt der Probennahme gleichgültig, wenn die Proben nicht feucht werden. Texttafel II gibt einen Überblick über die Hauptzüge der Stratigraphie des Negev mit Eintrag der wichtigsten Horizonte, in denen verstärkte Eisen-Mangan-Krustenbildung vorkommt.

IV. Biologische Verwitterung von Kalken und silifizierten Kalken

Die Verwitterung von Kalken in den ariden Gebieten Israels und die Entstehung von Kalkkrusten und den weit auffälligeren Eisen-Mangan-Krusten stehen in engem Zusammenhang, so daß eine getrennte Behandlung nicht ganz einfach ist. In den folgenden Kapiteln soll gezeigt werden, daß die Frage, ob ein Gestein in diesen Gebieten verwittert oder eine zumindest zeitweise verwitterungsbeständige Kruste entwickelt, neben der Gesteinsbeschaffenheit und den klimatischen und morphologischen Gege-



Stratigraphie
nach Y. ITZHAKI (unveröff.)
und Y. K. BENTOR 1966

Abb. 2. Profil der angetroffenen Schichtenfolge mit Angaben über gehäuftes Vorkommen von Fe-Mn-Krusten bei Ausstreichen an der Oberfläche.

benheiten (Exposition, Mikroklima) in besonderem Maße auch von der gesteinsbesiedelnden Mikroflora abhängt.

a) Kalke des Eozäns

In der Gegend von Avedat, einer alten nabatäischen Ruinenstadt, treten in den eozänen Kalken, die die Plateaus der aus der Ebene sich erhebenden Hügel bilden, häufig große Riffkomplexe auf, die z. T. silifiziert wurden, wobei der Silifizierung möglicherweise eine Dedolomitisierung der jet-



Abb. 3. Kalke des Miozäns bei Avedat (Negev). Durch biologische Verwitterung freigelegte silifizierte Riffe, die mit Eisen-Mangan-Krusten (Wüstenlack) überzogen sind.

zigen Kalkkomplexe vorausging (KATZ, 1967). In diesem Komplex kommt es an einigen Stellen zu sehr intensiver selektiver „Wüstenlackbildung“. Die mit Eisen-Mangan-Krusten überzogenen buckeligen Hügel (Abb. 3) zeigen dabei im Gegensatz zu den nicht mit Eisen-Mangan-Überzügen versehenen Kalken eine relativ glatte Oberfläche. Das Alter der Krustenbildung läßt sich in manchen Fällen an den primitiven Felszeichnungen, die in sie eingeritzt wurden, ablesen. Besonders im Bereich dieser „Wüstenlacke“ wurde untersucht, warum die Verwitterung selektiv stattfindet. Schon wenn man im Gelände die Handstücke etwas näher betrachtet, fällt auf, daß nahezu keine Oberfläche besiedlungsfrei ist. Strauchflechten, Krustenflechten und endolithische Flechten siedeln an den Oberflächen, während im Schatten überhängender Felsteile hypolithische Algen wachsen. Der Aufwuchs von Krustenflechten wird in Abbildung 12₁ u. 12₇ deutlich. Die hypolithischen Algen lassen sich auf Schwarz-Weiß-Abbildungen leider nicht darstellen.

In Abbildung 4 sind die kraterförmigen Trichter, die durch endolithische Flechten verursacht werden, deutlich zu erkennen. Ähnliche Erscheinungen, allerdings in kleinerem Maßstab, finden auch auf Hornstein statt (Abb. 12₃). Erst die mikroskopische Analyse von Lackfilm und Dünnschliff und mit vorsichtiger Säurelösung präparierte Pilzhyphen zeigen, daß die Mikroflora in den Trichtern etwa 3 mm in das Gestein eindringt und auf diese Weise die Trichter vergrößert. Alge und Pilz der Flechte greifen das Ge-

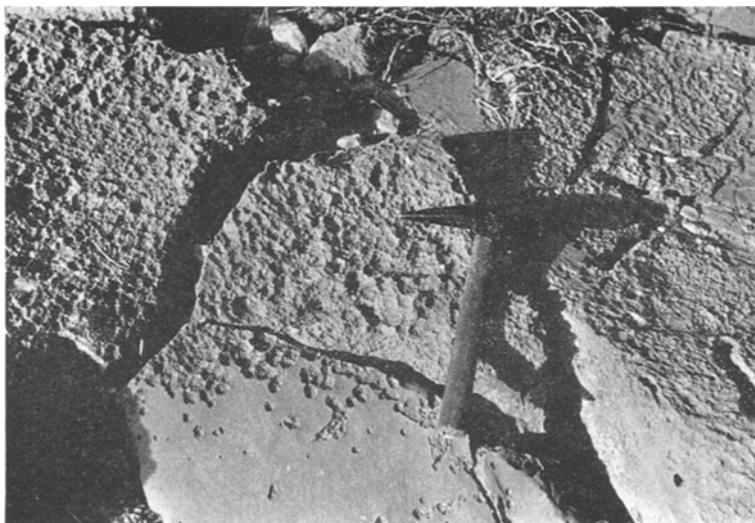


Abb. 4. Durch endolithische Flechten verursachte kraterförmige Verwitterung in Kalken des Mitteleozäns von Avedat. Linke obere Bildhälfte zeigt das fortgeschrittene Stadium, wie es in Abb. 3 vorhanden ist.

stein an und lösen durch ihre Stoffwechselprodukte (Säuren und chelatierende Verbindungen) die Kalke vollständig, während Quarz und Silikate angelöst werden oder z. T. unangegriffen zurückbleiben.

Ist eine ehemals ebene Oberfläche einmal durch eine Flechte, eine Algenkolonie oder durch ein steinbohrendes Insekt durchbrochen, so wird die Lösungsgeschwindigkeit spontan erhöht. Neben Algen und Flechten lassen sich bald autotrophe und heterotrophe Bakterien nachweisen, die durch Säureeinwirkung und Salzsprengung zu weiterer Verwitterung führen können (KRUMBEIN, 1966 b).

Es bilden sich neue Krater, diese wachsen zusammen, und es entsteht eine unregelmäßig geformte Lösungsfront, wie sie in Abbildung 5 a und b schematisiert dargestellt ist (vgl. Abb. 4, oben links). Trifft diese „biologische Lösungsfront“, deren mikrobiologische Zusammensetzung in Tabelle 2, 4 b, dargestellt ist, auf verwitterungsbeständigeres Material (vgl. Karbonatgehalte 5 a und b), so entsteht wieder eine glatte ungestörte Oberfläche, die sich mit der Zeit mit einer Kruste überzieht. Im allgemei-

Aufsätze

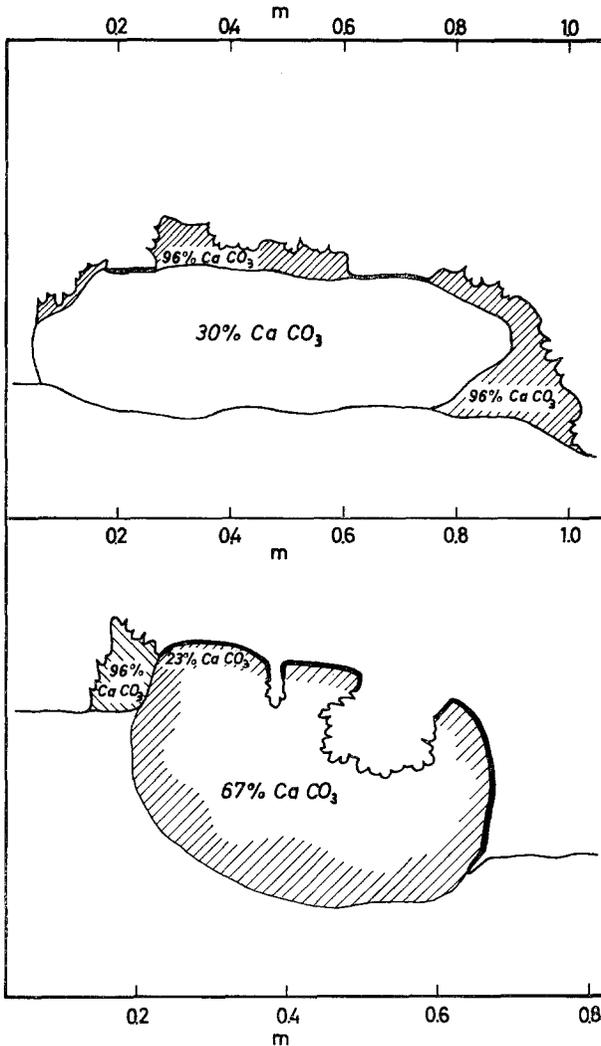


Abb. 5. Abb. 5 a zeigt einen völlig silifizierten Riffstotzen, den die „biologische Lösungsfront“ freipräpariert. Dicke Kontur bezeichnet Fe-Mn-Krusten. In Abbildung 5 b ist ein Riffblock nur partiell silifiziert. Die Lösungsfront kann die silifizierte Zone durchbrechen und den Stein aushöhlen.

nen entsteht zwischen der „härteren“ und „weicheren“ Gesteinspartie eine tiefe Furche, die darauf hinweist, daß an diesen Stellen die Keimzahlen noch höher steigen (Tabelle 2, 4 a). In Abbildung 6 wurde ein Teilgebiet herausvergrößert, um die entstehenden Vertiefungen deutlich zu machen. Ein silifiziertes Schalenstück wird freipräpariert und überzieht sich gleich-

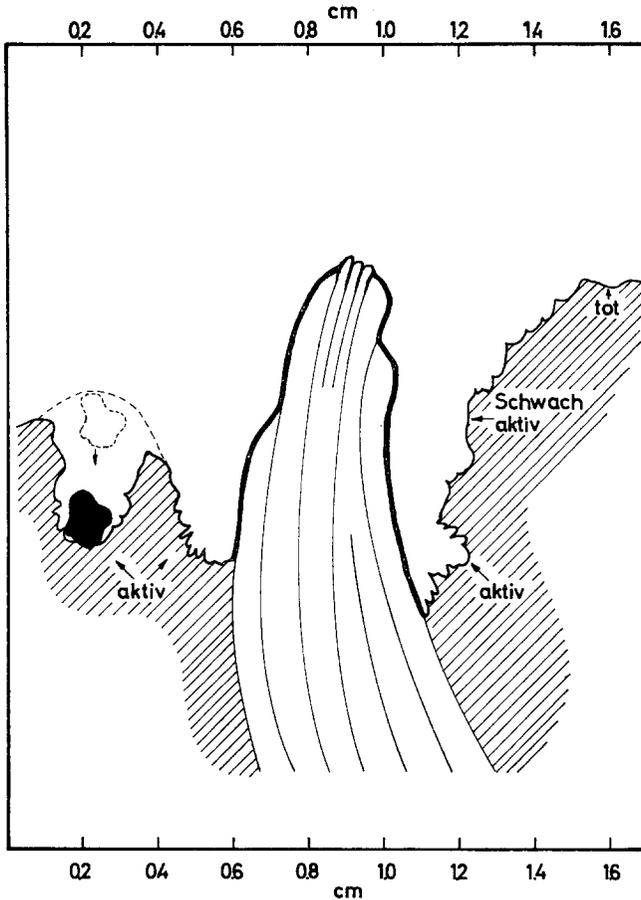


Abb. 6. Teilausschnitt eines verwitternden Kalkes mit eingelagerten silifizierten Partien. Die härteren Partien werden freigelegt, wobei sich an der Trennlinie (schraffiert = Kalk; weiß und schwarz = silifizierter Kalk mit Krusten) tiefe Rillen bilden, in denen die Verwitterung am heftigsten ist. Die biologisch aktivsten Zonen sind bezeichnet. Linke Bildhälfte: Ein kleiner silifizierter Gesteinspartikel wird in das Gestein „hineingepaust“, wobei er sich allseitig mit einer Fe-Mn-Kruste überzieht.

zeitig mit einer Eisen-Mangan-Kruste. Die höchsten Keimzahlen kommen in der Tiefe vor, während direkt an der Oberfläche die meisten Keime abgestorben sind. Chasmolithische Algen und Pilze, die in Spalten vordringen und endolithische Algen und Pilze, die in größeren Poren wandern, dringen von hier aus seitlich in das Gestein ein. Da diese Besiedlung nur schwer im Schwarz-Weiß-Photo darstellbar ist, sei auf FRIEDMANN (1967) hingewiesen, der 16 Farbphotos zu diesem Problemkreis abbildet. Die Pilz- und Bakterienflora dringt tiefer als 5 cm in das Gestein ein. Algen-

säume treten im allgemeinen in 3—10 mm Tiefe auf. In diesen Zonen ist das Gestein dann grün verfärbt. Algen, die an unsichtbaren Spalten eindrangen, wurden in Hohlräumen im Inneren von Ammoniten, des Campan noch in 3 cm Tiefe gefunden, wo sie als Rasen auf Kalzitkristallen wuchsen, die Hohlräume des Fossils ausfüllten.

Auf der linken Bildhälfte von Abbildung 6 ist ein kleiner überkrusteter Partikel dargestellt, der völlig aus dem Gesteinsverband gelöst wurde und

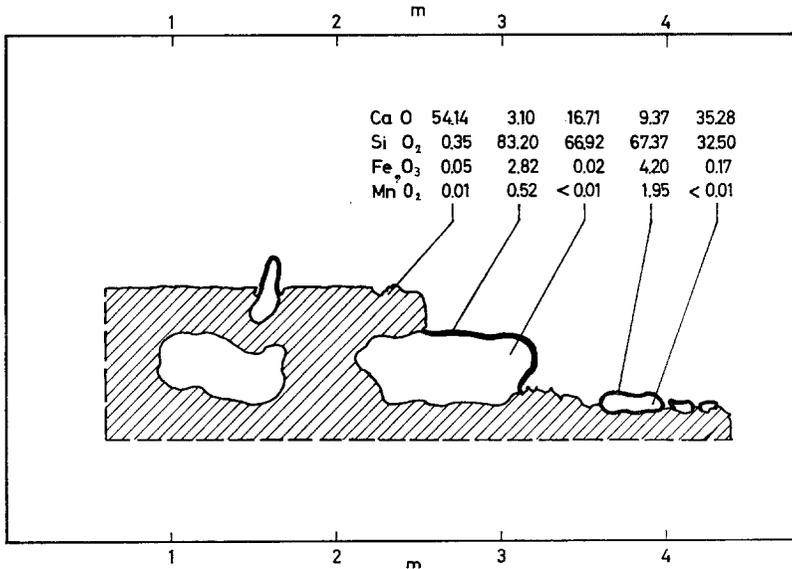


Abb. 7. Verwitterungsprofil bei Avedat (Negev) mit Kalken des Mitteleozäns und Rifffotzen, die partiell silifiziert sind. Beziehungen zwischen Chemismus des Gesteins und der Verwitterungsgeschwindigkeit.

nun durch die biologische Verwitterung in die Tiefe gepaust wird. In Abbildung 5 b ist ein Gesteinskörper dargestellt, der nur teilweise silifiziert wurde und, nachdem die verkrustete Oberfläche an irgendeiner Stelle durchbrochen wurde, sehr schnell weiter verwittert. Der Zusammenhang dieser selektiven Verwitterung mit dem Chemismus der Gesteine ist in Abbildung 7 dargestellt (vgl. auch Tabelle 1).

Im Dünnschliff der eozänen silifizierten Rifffteile erkennt man deutlich den Grad der Silifizierung. Das Gestein besteht zum großen Teil aus Foraminiferen, Kalkalgen und Korallenbruchstücken, die silifiziert wurden, wobei Strukturen bis in alle Einzelheiten erhalten bleiben. Der Schliff ist mit Alizarin gefärbt. Kalkmatrix, Löcher im Schliff und Eisen-Mangan-Krusten erscheinen in Grautönen. Quarz ist hell. Die Mikroflora dringt in das wie in Abb. 6 spornartig herausragende silifizierte Gestein ein und löst den Kalk auf. Ein Algensaum tritt an der schwarzen Linie auf. Im rechten oberen Bildteil sind in den durch Lösung entstandenen Hohlräumen Fe-

Tabelle 1. Chemische Analysen der teilweise silifizierten Kalke und der Krustenzonen.

Probe	H ₂ O	CaO	MgO	CO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Org. Mat.
4 b	1,1	54,14	0,40	42,8	0,05	0,01	0,35	—	0,7
4 a	0,9	3,10	0,39	2,4	2,82	0,52	83,20	2,38	1,4
4	1,1	16,71	0,04	13,3	0,02	Sp.	66,92	0,51	0,6
4 c	0,6	31,28	0,22	24,7	0,08	Sp.	40,61	0,06	0,3
11 a	1,2	9,37	0,39	7,4	4,20	1,95	67,37	3,64	1,6
11	0,8	35,28	0,26	27,8	0,17	Sp.	32,50	0,03	0,5
6 a	0,9	5,21	0,34	3,7	4,72	2,21	77,21	1,73	1,8
6	0,8	19,58	0,19	15,5	0,13	0,01	60,02	0,08	0,6

4 a, 11 a und 6 a = Reaktionssaum mit Eisen-Mangan-Kruste; 4, 11 und 6 = unmittelbar darunter liegende Gesteinspartie; 4 b = nicht silifizierter Kalk, der die krustentragende Zone überlagert; 4 c = weniger silifizierte Zone unter dem Bereich in dem Krustenbildung möglich ist.

Tabelle 2. Keimzahlbestimmungen verschiedener Proben im Bereich der Eisen- und Mangan-Krusten, bezogen auf 1 g Trockengewicht.

Probe	Gesamte Mikroflora	Algen	Pilze	Aktino-Myceten	Ammonifizierung	Oxydation von	
						NH ₄	NO ₂
4 b	$2,3 \times 10^7$	$1,2 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3$	$4,5 \times 10^2$	$4,0 \times 10^5$	$9,5 \times 10^2$	$2,3 \times 10^2$
4 a	$4,5 \times 10^8$	$3,0 \times 10^4$	$7,5 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	$1,1 \times 10^6$	$4,0 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$
4 c	$1,5 \times 10^4$	—	$4,5 \times 10^2$	$1,4 \times 10^2$	$2,4 \times 10^3$	15	9

Mn-Fällungen entstanden. Ganz außen bildet sich später eine harte Fe-Mn-Kruste. Der Dünnschliff entstammt dem in Abb. 12₆ abgebildeten Handstück. Noch deutlicher wird das Einpendeln zwischen biologischer Lösungsfront, Verwitterungsbeständigkeit des Gesteines und Krustenbildung bei einem Kalksandstein aus dem Jura des Maktesh Ramon (Negev). Die karbonatische Matrix wird durch eindringende Algen und Bakterien gelöst, das Quarzkornskelett bleibt jedoch im Zusammenhang. An der Oberfläche und z. T. in den neu gebildeten Hohlräumen entstehen Fe-Mn-Überzüge, die das eindringende Licht vermindern und ein Tieferdringen der Algen verhindern. Es entsteht eine Schichtung folgender Art. Ganz außen ein 0,5 mm mächtiger Fe-Mn-Oxydfilm, dann 2—4 mm kalkfreier Sandstein, dann ein 1—2 mm mächtiger Bereich, indem alle Poren mit grünen Algen ausgefüllt sind, und schließlich der ursprüngliche Kalksandstein.

b) Kalkverwitterung auf Lesesteinen der „desert pavements“

Lesesteine der ausgedehnten Wüstenpflaster (desert pavements) zeigen in vielen Fällen, wenn es sich um Kalke handelt, eine gleichartige Entwicklung. Es entstehen immer oben abgerundete, an der Auflagefläche

flache, kastanien-kindskopf-große Steine, die an der Oberfläche häufig mit einem Rillensystem überzogen sind (Mikrokarst)²⁾, das scheinbar durch die spärlichen Regenfälle und die intensive Verwitterungstätigkeit des häufigeren Taufalles erzeugt ward. Abbildung 12₂ zeigt einen nicht sehr stark ausgeprägten Rillenstein, von dem ein Teil der Oberfläche abgesägt wurde, um den Farbunterschied zu zeigen.

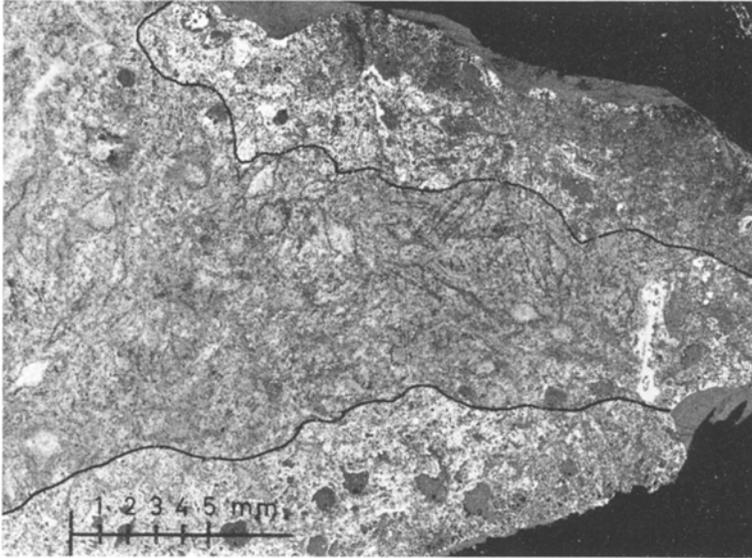


Abb. 8. Teilsilifizierter Riffkalk des Mitteleozäns von Avedat (Negev). In der unteren Bildhälfte ist eine „biologische Lösungsfront“ bis in 4 mm Tiefe vorgedrungen und hat das Gestein entkalkt. Gleichzeitig kommt es zu Eisen-Mangan-Fällung, die nur im Farbbild erkenntlich wird. Fossilien sind stärker silifiziert als die Matrix (angefärbt mit Alizarin).

Bei genauerer Betrachtung erkennt man jedoch, daß nicht die Furchen des Mikrokarstes das tiefste Verwitterungsniveau darstellen, sondern kleine nöpfchenförmige Vertiefungen, auf deren Boden ein hauchdünnes, braunes Häutchen anliegt. Diese nahezu alle Rillensteine überziehenden Grübchenmuster blieben mir lange ein Rätsel, bis ich die auf manchen Rillensteinen ebenfalls vorkommenden Flechten einmal mit einer Bürste abschabte. Hierbei zeigte sich, daß die Grübchen die Überreste einer ehemaligen völligen Besiedlung des Steines durch Flechten sind. In Abbildung 9 wird die Entwicklung solcher Vertiefungen schematisch wiedergegeben. Die schwarz dargestellten Apothecien der Flechten sowie Teile des aus Algen und Pilzhypen zusammengesetzten weiß dargestellten Luftmyzels und der Rindengewebe ätzen in dichtem Abstand Löcher in das Gestein. Um die Übersicht nicht zu komplizieren, wurden Zellbestandteile nicht dargestellt.

²⁾ Prof. MENSCHING, mündliche Mitteilung.

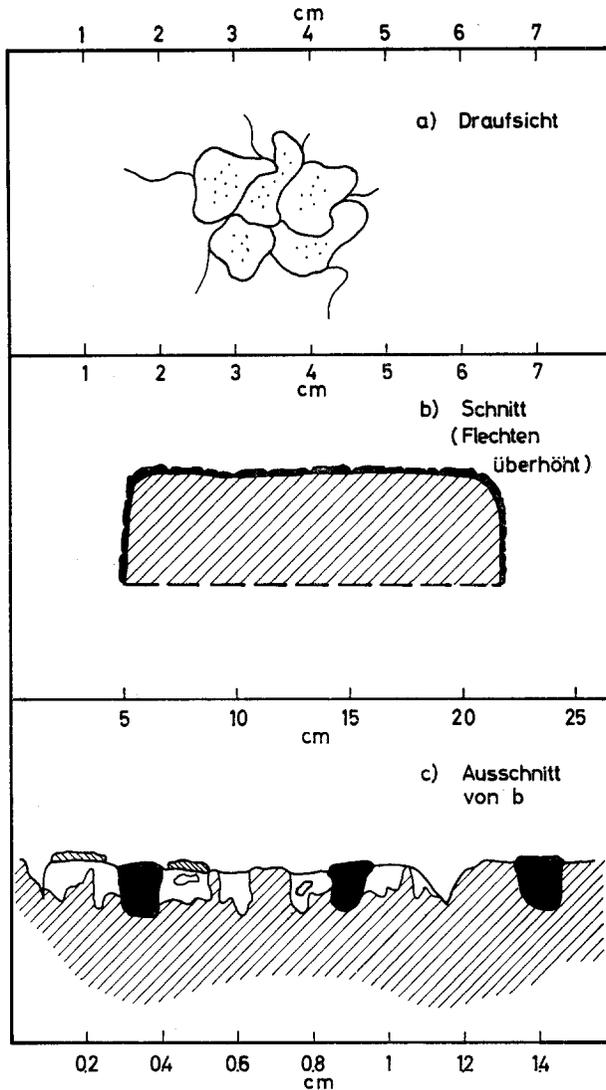


Abb. 9. Schematisierte Skizze der Verwitterung eines Rillensteines durch Krustenflechten. a) Aufsicht der Mosaikflechten mit schwarzen Apothecien. b) Schnitt durch den Stein mit auflagernden Flechten. c) Ausschnitt zur Darstellung der Lösungserscheinungen unter dem Flechtenthallus. Die Grübchen entstehen sowohl unter den Apothecien als auch unter den weiß gelassenen Partien des Luftmyzels. An der Oberfläche kommt es zu Abscheidungen von Kalzit und Fe-Hydroxyden.

Abbildung 12, zeigt eine derartige Besiedlung durch Flechten. Abbildung 10 läßt den Zusammenhang zwischen Flechte und Grübchen deutlich erkennen. Diese Art der Oberflächenreliefierung ist nicht nur auf Wüstengebiete beschränkt, sondern wurde auch auf extrem exponierten Flächen in Spanien und im Fichtelgebirge (Bayern) wiedergefunden. Nur in den seltensten Fällen lassen sich in den nach Absterben der Flechten zurückbleibenden Grübchen noch Zellbestandteile erkennen. Der bräunliche Bo-

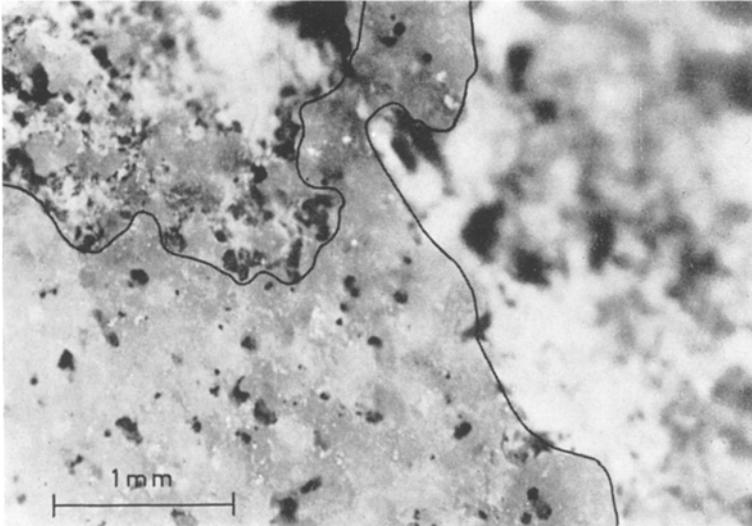


Abb. 10. Ausschnitt aus einem Rillenstein mit noch aktiven Flechten. Rechte Bildhälfte: die umrandete Flechte ist erhaben und daher unscharf. Linke Bildhälfte: Teile der Flechte wurden weggebürstet. Die eingetätzten Grübchen werden sichtbar und sind noch mit Algen und Pilzhypen erfüllt. Bildmitte: Die Flechte war schon abgestorben und hinterließ die geätzten Grübchen, auf deren Grund noch einige Algen wuchsen.

denbelag ist amorph und besteht vor allem aus Fe-Oxyden und Oxydhydraten und organischem Material. Nur durch die Beobachtung des lückenlosen Überganges von der vollen Entwicklung der Flechte zum Absterben und Eintrocknen lassen sich beide Erscheinungen voneinander ableiten.

Auch bei dieser Verwitterungsform, die weniger durch endolithische Flechten und Bakterien als vor allem durch Krustenflechten verursacht wird, kommt es zu einer selektiven Präparation schwerer löslicher Bestandteile, die zur Entwicklung von schwach reliefierten Residualkrusten führen kann. Dies wurde im Fall von Kalken beobachtet, die silifizierte Mikrofossilien enthielten, sowie bei Kalken, die einen höheren Anteil an Tonmineralen besaßen.

In vielen Fällen entstehen vorübergehend an der Oberfläche der Flechten Kalkkrusten (Abb. 9 c) und gelegentlich auch Fe-Abscheidungen. Diese Oberflächenbildungen sind meistens keine Evaporisationserscheinungen, sondern werden durch einen aktiven Transport von Kationen an die Oberfläche bewirkt. LANGE & ZIEGLER (1963) wiesen am Beispiel von Flechten auf Erzschlackenhalde des Harzes (Niedersachsen) nach, daß Schwermetallionen aktiv durch das Flechtengewebe an die Oberfläche transportiert werden.

Anhaltspunkte für die Aktivität der die Rillensteine und anstehenden Gesteine besiedelnden Flechten und Bakterien wurden bei pflanzenphysiologischen und ökologischen Untersuchungen einer Arbeitsgruppe des Botanischen Institutes der Universität Würzburg unter Leitung von Prof. O. LANGE gewonnen. Auf der Versuchsfarm der Universität Jerusalem in Avedat wurden Standortmessungen mit transportablen Meßkammern und automatisch registrierenden Infrarotspektrographen und Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitsschreibern durchgeführt. Unter anderem wurde auch die CO₂-Aufnahme und -Abgabe eines völlig mit Krustenflechten (*Verrucaria*) überzogenen Steines gemessen (Abb. 11). Kurz nach dem nächtlichen Taufall begann der Stein zu atmen und setzte dabei CO₂ frei. Mit Sonnenaufgang beginnt die Assimilation; CO₂ wird aus der Luft aufgenommen. Schon sehr früh am Morgen mit Ansteigen der Temperatur und Lichtmenge wird ein noch unbekannter Schwellenwert überschritten und die Assimilation geht in Atmung über (—·—·—). Befeuchtet man den Stein im Laufe des Tages erneut, so kommt es nicht mehr zu Assimilation, sondern zu Atmung unter heftiger CO₂-Abgabe (— — —). Der gleiche Stein gibt nach der Sterilisation während des ganzen Tages geringe Mengen von CO₂ ab. Dies kann durch die Verdunstung des im Stein gespeicherten Wassers oder durch ungenügende Sterilisation erklärt werden (der Stein wurde nur abgekocht).

Allerdings ist die Abgabe von CO₂ allein kein Kriterium für den Einfluß der Mikroorganismen auf die Verwitterung. Viel wesentlicher sind Flechten- und Pilzsäuren, chelatbildende Substanzen und die aktive Nährstoffaufnahme der Zellen aus den Mineralen. In der Reihenfolge der Energiemengen, die verschiedene Pflanzen für die Aufnahme von Mineralsalzen aufbringen, stehen die Flechten an erster Stelle. Sie können in vielen Fällen die Bindungsenergie von Kristallgittern überwinden (KELLER, 1961).

Aus den Geländebefunden, den ermittelten mikrobiologischen Daten und den chemischen Analysen läßt sich ein dynamisches Verhältnis zwischen Verwitterung, Oberflächenkonservierung und Krustenbildung ablesen, das von folgenden Größen bestimmt wird: 1. Gesteinsbeschaffenheit, 2. Makro- und Mikroklima, 3. Besiedlungsart- und Dichte, die wiederum Einfluß auf das Mikroenvironment nehmen.

Zeigt sich ein Glied dieses Systems schwächer als das andere, so verschiebt sich das Gleichgewicht in die betreffende Richtung. Während die harten Kalke des Miozän unter dem Einfluß der Mikroflora sehr schnell verwittern, entwickeln silifizierte Partien der gleichen Gesteine unter dem Einfluß der gleichen Flora und der gleichen Keimzahlen eine Kruste, wäh-

rend an anderen Stellen selbst reiner Hornstein durch Flechten geätzte Grübchen aufweist. Es soll nun im folgenden die Frage untersucht werden, ob die auch im Bereich der Eisen-Mangan-Krustenbildung reichlich vorhandene Mikroflora einen Einfluß auf die Krustenbildung hat.

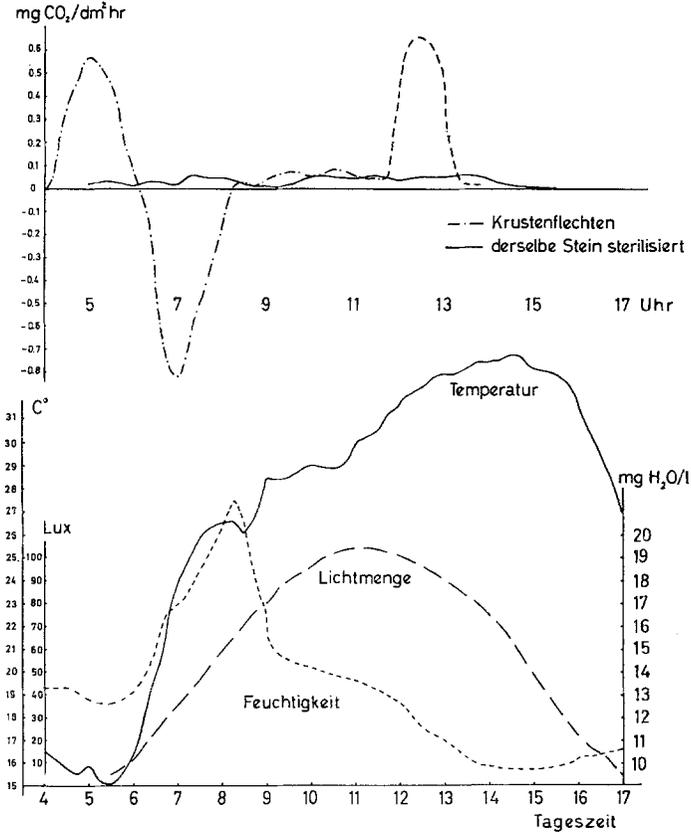


Abb. 11. Messungen der Atmungsaktivität eines mit Flechten völlig überzogenen Rillensteines vom „desert pavement“. Oben: CO₂-Aufnahme und -Abgabe im Verlauf des Tages (---) und bei Befeuchtung (—) sowie beim sterilisierten Stein (—). Unten: Messungen von Licht, Feuchtigkeit und Temperatur in der Meßkammer am Standort.

IV. Biologische Einflüsse auf die Bildung von Eisen-Mangan-Krusten

a) Einführung

Die ersten Beobachtungen von Eisen-Mangan-Abscheidungen auf Gesteinen arider Gebiete wurden bereits Anfang des 19. Jahrhunderts gemacht (DE ROZIERE, 1813). An diese Beobachtungen anschließend hat nahezu jeder Forscher, der sich in ariden Gebieten aufhielt, über die sogenann-

ten „Wüstenlacke“ oder „Wüstenrinden“ berichtet (z. B. WALTHER, 1912; KAISER, 1926; LINCK, 1930). Ähnliche Erscheinungen wurden auch aus anderen Klimazonen bekannt und als „Gletscherlack“, „Gebirglack“ oder einfach „Schutzzrinden“ bezeichnet (HÖGBOM, 1912; ZAHN, 1930; BÜDEL, 1960 u. a.).

HUNT (1954) und ENGEL & SHARP (1958) berichten über „Wüstenlacke“ aus amerikanischen Wüsten. CALLEUX (1966) erwähnt fossile Eisen-Mangan-Krusten des Quartärs im Pariser Becken und (1965, 1967) ähnliche Bildungen in Alaska.

Nach allen verfügbaren Berichten kommen Eisen-Mangan-Überzüge in allen Wüstengebieten der Erde (sowohl Kälte- als Wärmewüsten) vor, weiterhin gehäuft in Hochgebirgsregionen und vereinzelter in allen anderen Klimagebieten, wenn entsprechende mikroklimatische Bedingungen vorhanden sind. Es handelt sich in allen Fällen um sehr dünne (wenige μ) bis krustenartige (bis zu 3 mm) Überzüge und Rinden auf den verschiedenartigsten Gesteinen. Sie sind bräunlich-schwarz bis rötlich und bei sehr dünnen Anflügen auch gelblich gefärbt und bestehen immer aus Eisen- und Manganoxiden und -hydroxyden in jeder beliebigen Mischung, wobei das Verhältnis Fe/Mn selten 5:1 unterschreitet und auf die Farbe meistens keinen Einfluß hat (SCHEFFER et al., 1963). Meistens liegen die Mangangehalte bedeutend niedriger. Die Oberfläche kann, aber muß nicht poliert erscheinen. Die Politur oder der Glanz entsteht in den seltensten Fällen durch Wind- oder Wasserschliff, sondern ist durch den lamellaren Feinbau der Überzüge zu erklären, deren Partikelgröße fast immer äußerst gering ist. Gut kristallisierte Minerale lassen sich auch röntgenographisch nur selten nachweisen, obwohl es sich in den meisten Fällen um mikrokristalline Aggregate handelt. Häufig ist es nicht möglich, die Überzüge vom Substrat abzutrennen, so daß alle Analysendaten entweder korrigiert werden oder niedrigere Gehalte an Fe und Mn ergeben. Sehr genaue Daten gaben in letzter Zeit ENGEL & SHARP (1958), die ihre Werte auf Verunreinigungen korrigierten. Sie kommen zu dem Schluß, daß es sich um anorganische, durch Evaporisation entstandene Verwitterungsprodukte handelt, schließen eine biologische Entstehung jedoch nicht aus. SCHEFFER et al. (1963) kommen durch das häufige Auftreten von Blaualgen in der Nähe von Eisen-Mangan-Rinden und durch die hohe Austauschkapazität der Fe-Sole zum Schluß, daß es sich möglicherweise um biologische Bildungen handle. HÖLLERMANN (1963) deutet Ähnliches für die sogenannten „Gebirglacke“ an.

Von allen Forschern, die die Lybische Wüste bereisten, werden die Kataraktkrusten des Nils in den Bereich der „Wüstenlacke“ einbezogen.

b) Untersuchungen an Eisen-Mangan-Überzügen auf Gesteinen aus humiden und ariden Klimabereichen

Während der Untersuchungen zur Verwitterung und Krustenbildung im Negev (Israel) wurden an verschiedenen Orten und in verschiedenen stratigraphischen Niveaus Proben von „Wüstenlacken“ genommen. Da ich

völlig identische Überzüge auch in verschiedenen Gebieten Deutschlands sammeln konnte, verstärkte sich der Eindruck, daß diese Erscheinungen nicht an Großklimabereiche gebunden sind und in allen Teilen der Erde auftreten. Aus dieser Untersuchung ausgeschlossen wurden deutlich er-

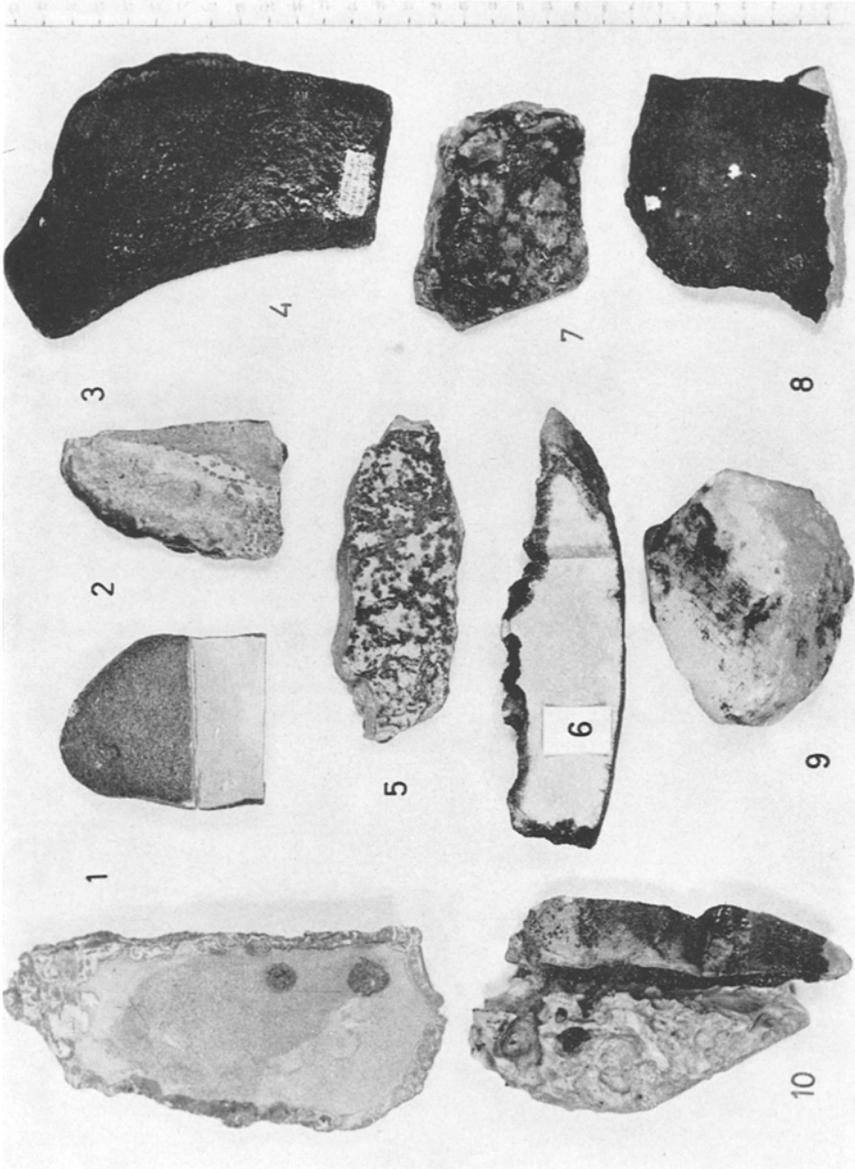


Abb. 12 (Legende nebenstehend)

kennbare Kluffbeläge, wie sie in Sandsteinen und Kalken vorkommen, sowie die dicken Eisenrinden in Gebieten mit Lateritverwitterung und Ortsteinhorizonte in Bodenprofilen. Die dendritischen, abiologischen Eisen- und Manganfällungen, die besonders schön in den hellen Plattenkalken des Solnhofener Juras (Schwäbische Alb) vorkommen, lassen sich in den meisten Fällen von den auch in Form von Dendriten auftretenden „Wüstenlacken“ unterscheiden. Sie sind meistens grobkristallin. Es wurden jedoch auch auf Klüften der Solnhofener Kalke Mangandendriten beobachtet, die bei Betrachtung im Binokular dicht besetzt von den Apothecien endolithischer Flechten waren. Besonders gut heben sich die Flechten von den fleischfarbenen Manganabscheidungen der Kalke der gleichen Region ab.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Eisen-Mangan-Fällungen auf folgenden Gesteinsproben untersucht:

1. Auf jurassischen Sandsteinen mit teils karbonatischem und teils kieseligem Bindemittel aus dem Maktesh Ramon (Negev).
2. Auf Kalken und silifizierten Fossilien des Cenoman im Maktesh Hagadol (Negev).
3. Auf Hornsteinen des Mishash flint (Campan) des Negev (Abb. 12₇ u. Abb. 13).
4. Auf silifizierten Kalken des Mitteleozän bei Avedat (Negev) (Abbildung 3, 12₆, 12₈, 12₁₀).
5. Auf Hornsteinen und Kalken der desert pavements um Avedat und s. des M. Ramon, in der Hiyonebene, sowie vom Ti-Plateau im Sinai (Abb. 12₂, 12₃).
6. Auf einem „Rillenstein“ eines „desert pavements“ der Sahara (Handstück von Prof. O. H. VOLK, Würzburg).
7. Auf einer sogenannten „Kataraktkruste“ des Nils bei Abu Simbel (Handstück Prof. G. KNETSCH, Würzburg).
8. Auf einem großen Kalzitbrocken aus dem Sinai (Abb. 12₉).

Abb. 12. Handstücke zur biologischen Verwitterung und Krustenbildung: (1) „Rillenstein“ mit Flechtenbewuchs; (2) Rillenstein ohne Flechtenbewuchs, jedoch mit Spuren eines früheren Bewuchses; untere Seite wurde aufgesägt, um Originalfarbe des Gesteins zu zeigen; (3) Neolithisches Werkzeug aus der Gegend von Avedat (Negev) mit Ätzgrübchen durch Flechten im milchigen Reaktionsraum des Hornsteins und „Wüstenlackbildung“ auf dem Grunde der Grübchen; (4) Eisen-Mangan-Kruste auf einem Gneis des Dalradian an der Schottischen Küste. Unter der Kruste Algenbewuchs. (5) Fe-Mn-Krusten auf Buntsandstein von der Steilküste Helgolands; (6) Aufgeschnittener Eozänkalk von Avedat mit „Wüstenlack und Fe-Mn-Imprägnationen; (7) Hornstein des Mishash-flint (Campan, Negev) mit Mangandendriten durch Flechtenbewuchs (vgl. Abbildung 13); (8) „Wüstenlack“ auf silifiziertem Eozänkalk; das Handstück ist allseitig überzogen und die Kruste enthält die 1000fache Manganmenge, die nach der Gesteinsanalyse zu erwarten wäre; (9) Kalzitbrocken mit Algenaufwuchs, der nach rechts oben in „Wüstenlack“ übergeht; (10) Demonstration der Trennfläche zwischen biologischer Verwitterungsfront (links) im Kalk und gleichzeitiger „Fe-Mn-Krustenbildung“ (rechts) auf silifiziertem Kalk sowie der tief eingegraben Trennfurche mit höchster biologischer Aktivität (Zahlenhöhe 8 mm).

Aufsätze

9. Auf einem Gneis des Dalradian an der Schottischen Küste bei Fraserburgh (Handstück Prof. Vogt, Hamburg) (Abb. 12₄).
10. Auf einem Quarzgeröll aus der Amperschlucht bei München.
11. Auf Blasensandstein des Keupers (Steigerwald, Unterfranken).
12. Auf Buntsandstein im Spessart (Unterfranken).
13. Auf Buntsandstein im Solling (Niedersachsen).
14. Auf Buntsandstein der Klippen von Helgoland (Deutsche Bucht). (Abb. 12₅.)

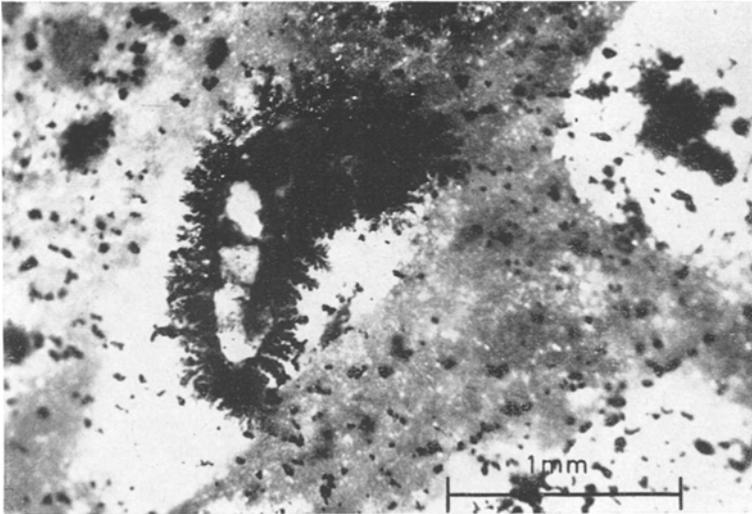


Abb. 13. Mangandendriten um eine Flechte auf Hornstein. Auch die kleinen schwarzen Punkte sind Ansätze von Flechten oder Algenkolonien. Im Inneren der großen Dendritenzone wurde ein Teil der Flechtenoberfläche entfernt, so daß das weiße Luftmyzel freiliegt.

Auf allen erwähnten Gesteinen handelte es sich um dünne bis maximal 1 mm mächtige Überzüge von Eisen- und Manganoxiden und -Hydroxyden, die Unebenheiten des Reliefs z. T. nachzeichneten, z. T. ausglich, gelegentlich jedoch noch verstärkten. In einigen Fällen waren die Beläge leicht vom Substrat zu trennen, in anderen Fällen fest damit verwachsen. Teilweise war eine scharfe Begrenzung gegen das Substrat zu erkennen, z. T. befand sich unter dem Überzug eine Fe-inkrustierte Zone (Abb. 12₆).

Gelegentlich ließ sich an Hand von primitiven Ritzzeichnungen ein hohes Alter der Überzüge feststellen. Sie können jedoch innerhalb weniger Jahre entstehen. An verschiedenen Stellen konnten mehrere Lagen von Eisen-Mangan-Krusten ausgeschieden werden, die mitunter durch millimetermächtige Lagen hellen Kalkes getrennt waren.

In allen untersuchten Fällen (mit Ausnahme von 6. und 10.) wurden gemeinsam mit den Eisen-Mangan-Krusten Flechten, Algen oder Pilze und

Bakterien gefunden, die auf, in und unter den Krusten wuchsen. In einigen Fällen konnte nachgewiesen werden, daß am gleichen Handstück eine Flechte oder ein Algenüberzug kontinuierlich in eine Eisen-Mangan-Kruste überging (Abb. 12_{8, 9}). Es kam vor, daß sich Höfe von Mangandendriten um eine Flechte bildeten (Abb. 13). Abbildung 13 zeigt ausgezeichnet die Entwicklung von Eisen-Mangan-Dendriten um eine Flechte (weiß inmitten der Dendriten). Auch die kleineren, schwarzen Flecken sind meistens mit

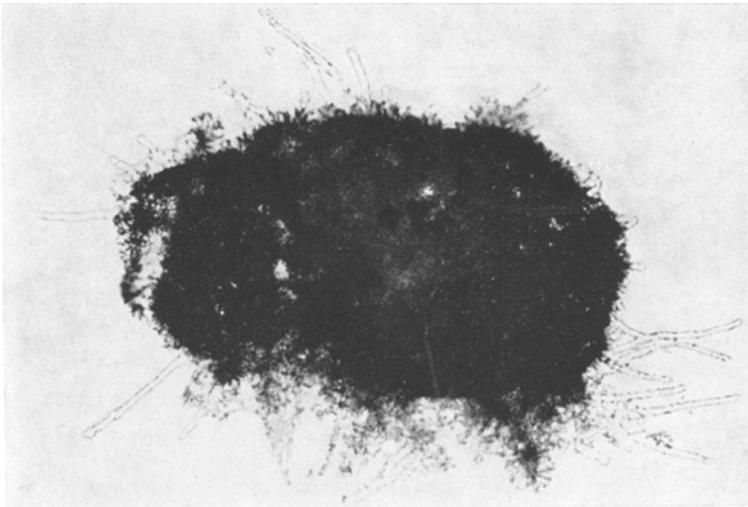


Abb. 14. Abgehobene Flechte von Stein in Abb. 12₇ und 13; (Vergrößerung: 320 \times). Die abgehobene Flechte mit den anwachsenden Pilzfäden und der beginnenden Mangandendritenbildung zeigt deutlich die Entstehungsweise von biogenen Mangan-Dendriten.

kleinen Flechten im Anfangsstadium ihrer Entwicklung besetzt. Ähnliche Fällungen entstehen auch bei den Hornstein ätzenden Flechten in Abbildung 12₉. Hebt man die Flechte ab und betrachtet sie unter dem Mikroskop, so erkennt man deutlich die auswandernden Pilzhypen als Ursache der Dendritenbildung (Abb. 14).

In vielen Fällen sind allerdings nicht Flechten, sondern isoliert lebende Algen und Pilze für die Ausfällungen verantwortlich. Von Probe 1, 2, 3, 4, 5, 7, 13 und 14 wurden Pilze, Bakterien und/oder Algen isoliert, die im Laborversuch Manganoxycide aus manganhaltigen Nährböden fällten.

Abbildung 15 stellt eine Pilzkultur in Nähragar dar, der 0,0002% Mn-Sulfat enthielt. An bestimmten Stellen des Pilzmyzels kommt es zur Fällung von sehr feinkörnigen Manganoxyciden, die keinen Röntgenreflex ergeben. Abbildung 16 zeigt ein mikroskopisches Präparat von noch nicht und bereits völlig inkrustiertem Pilzmyzel. Da die Fällung von Eisen in Nährböden im aeroben Milieu nur sehr schwer von der Autoxydation zu

trennen ist, wurden diesbezügliche Untersuchungen nicht gemacht. MULDER et al. (1963), haben jedoch im Fall von süßwasserbewohnenden Fadenbakterien die Art und Weise der Eisen- und Manganabscheidung sehr gut deutlich gemacht.

In mehreren Versuchen mit den von den „Wüstenlacken“ isolierten Algen wurde festgestellt, daß suspendierte Algenzellen bereits nach einer halben Stunde Eisen an der Oberfläche abscheiden, wenn man sie in sehr

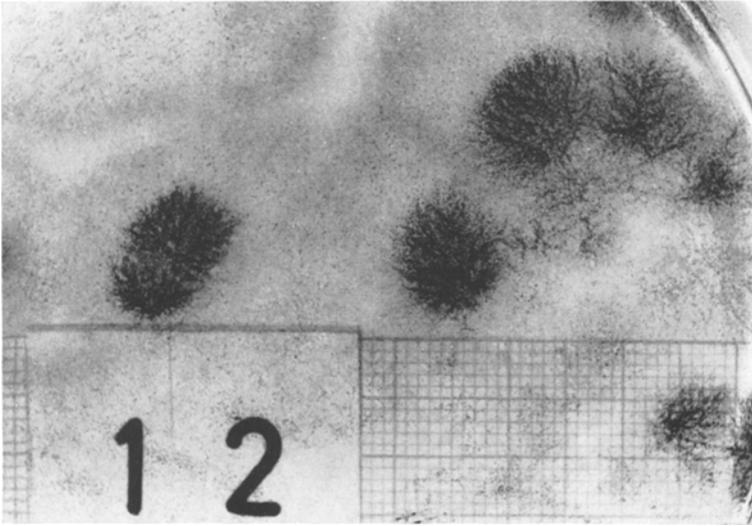


Abb. 15. Pilzkultur in der Petrischale mit mangananfällendem Pilz, der von Abb. 12₇ isoliert wurde; Alter der Kultur: 5 Tage. Das Pilzmyzel ist nur dort erkennbar, wo bereits Mn-Fällung stattfand (Zahlhöhe 8 mm).

verdünnte (0,001%) Fe^{II} -Lösungen bringt. (Die Autoxydation von zweiwertigem Eisen in destilliertem, sterilem Wasser braucht dagegen mehrere Tage.) Nach 24 Stunden war der Gehalt an zweiwertigem Eisen bereits auf 20% des Ausgangswertes gesunken.

SCHAEFFER et al. (1963) weisen auf das Vermögen vieler Blaualgen und Flechten hin, chelatisierende Substanzen abzuscheiden. Für Pilze wiesen DUFF & WEBLEY (1963) ähnliches nach. Vor allem die häufig in Zellwänden und Schleimhüllen vorkommenden Zuckerderivate (z. B. „Uronsäuren“) haben chelatisierende Eigenschaften.

Diese Eigenschaften der im Zusammenhang mit den Eisen-Mangan-Überzügen vorkommenden Mikroorganismen können erklären, warum sich die Eisen-Mangan-Verhältnisse nicht an die physikalisch-chemischen Voraussetzungen halten und warum Eisen und Mangan auf Gesteinen weit über die ursprünglich im Gestein enthaltenen Mengen hinaus angereichert werden. Bei den Kataraktkrusten des Nils muß eine aktive Selektion von Eisen und Mangan aus dem Wasser angenommen werden. Im Falle eines

allseitig von Eisen-Mangan-Belägen überzogenen Steines aus der Gegend von Avedat wurde das 100fache der zu erwartenden Eisenmenge und das 1000fache der zu erwartenden Manganmenge gefunden.

Schon beim oberflächlichen Vergleich der gefundenen Eisen-Mangan-Krusten ergab sich, daß die Ausbildung und Mächtigkeit der Krusten nicht allein von den Eisen- und Mangangehalten des Gesteins abhängig sein können. Ein wesentlicher Faktor ist die Ausbildung der Gesteinsober-

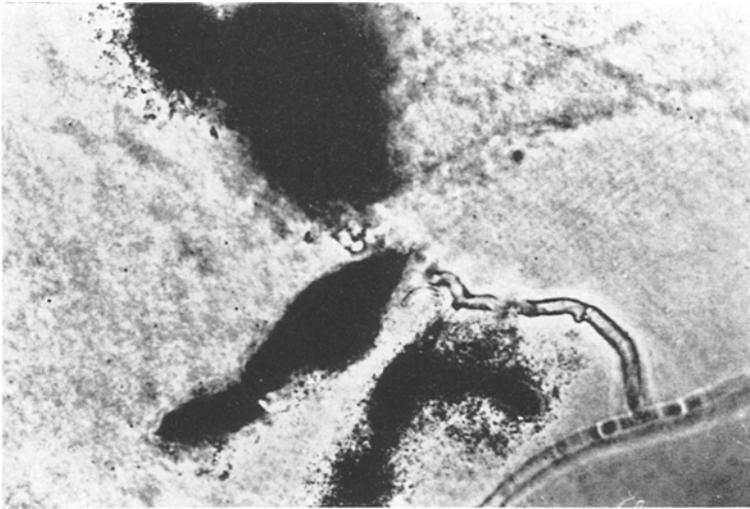


Abb. 16. Mikroskopisches Präparat des manganfällenden Pilzes aus Abb. 15 (Vergrößerung 500 \times). Das Mangan inkrustierte Pilzmyzel ist nur noch schattenhaft erkennbar. Noch manganfreies Myzel in der rechten unteren Bildhälfte.

fläche, die Porosität des Gesteins sowie die Intensität der Besiedlung. Im Fall der silifizierten Kalke des Mitteleozäns von Avedat, die durch selektiv biologische Verwitterung sehr porös wurden, kam es neben Überzügen auch zu Imprägnationen. Der Kalk wird aufgelöst und gleichzeitig Eisen und Mangan in den Hohlräumen abgelagert. Da diese zunächst völlig von Mikroorganismen (vor allem endolithischen Flechten und Algen) besetzt sind und das Eisen nicht in solchen Mengen zur Verfügung stand (vgl. Tabelle 1), muß eine selektive Anreicherung aus Oberflächenwasser und aus dem Boden angenommen werden.

In den meisten beobachteten Fällen von sogenannten „Wüstenlacken“ konnte ein Zusammenhang zwischen der gesteinsbewohnenden Mikroflora und der Art und Mächtigkeit der gebildeten Eisen-Mangan-Überzüge nachgewiesen werden. Da diese mikrobiologische Fällung in allen Bereichen der Erde vorkommt, wenn geeignete Gesteinsbeschaffenheit und entsprechendes Mikroenvironment gegeben sind, sollte anstelle von „Wüstenlack“ besser von Eisen-Mangan-Überzügen oder Eisen-Mangan-Krusten gespro-

chen werden. Es konnte gezeigt werden, daß die in ariden Gebieten auftretenden Eisen-Mangan-Krusten nicht durch wechselnde Befeuchtung und Evaporisation entstehen, sondern durch selektive, biologische Anreicherung. Dies schließt nicht aus, daß in Fällen, in denen das Substrat genügend Eisen und Mangan enthält, Eisen-Mangan-Krusten auch auf abiologischem Wege entstehen.

Bei der Verwendung von Eisen-Mangan-Krusten für paläoklimatische Aussagen ist Vorsicht geboten, da völlig identische Bildungen auch in humiden Gebieten auftreten, obschon die großklimatischen Bedingungen in ariden Gebieten für die Besiedlung von Gesteinen besonders günstige Voraussetzungen bilden. Flechten und Algen dringen weit tiefer in die Gesteine ein, als im allgemeinen in humiden Gebieten und die ausgedehnten Flächen nackter Gesteine erwecken den Eindruck, daß, wenn man für Mitteleuropa den Laubwald als die botanische Klimaxgesellschaft ansieht, die Klimax der Wüste die auf und im Gestein lebende Mikroflora ist, die hier auch ihre optimale Entwicklung erfahren mag.

Literaturverzeichnis

- BACHMANN, E.: Die Beziehung der Kieselflechten zu ihrer Unterlage. — Ber. deutsch. Bot. Ges., **35**, 464—476, 1917.
- : Kalklösende Algen. — Ber. deutsch. Bot. Ges., **33**, 35—57, 1915.
- BASSALIK, K.: Über Silikatersetzung durch Bodenbakterien und Pilze. — Zeitschrift f. Gärungsphysiologie, **2**, **3**, 1—32 u. 15—42, 1912 u. 1913.
- BENTON, Y. K.: The Clays of Israel. — The Int. Clay Conference Jerusalem, 121 S., 1966.
- BENTON, Y. K. & VROMAN, A.: The geological map of the Negev 1 : 100 000, sheet 18, Avedat. — Tel Aviv, 1951.
- BLACKWELDER, E.: Exfoliation as a phase of rock weathering. — J. o. Geology, **30**, 1925.
- BLANCK, E., PASSARGE, S. & RIESER, A.: Über Krustenböden und Krustenbildungen wie auch Roterden, insbesondere ein Beitrag zur Kenntnis der Bodenbildungen Palästinas. — Chemie der Erde, **2**, 348—395, 1926.
- BLANCK, E. & RIESER, A.: Vergl. Unters. über die Verwitterung von Gesteinen unter abweichenden klimatischen Bedingungen. — Chemie d. Erde, **3**, 1928.
- BLÜCHLIGER, G.: Mikrobiologische Untersuchungen an verwitternden Schrättkalkfelsen. — Diss. Zürich, 1931.
- BROMFIELD, S. M. & SKERMAN, V. B. D.: Biological oxidation of manganese in soils. — Soil Science **69**, 1950.
- BROMFIELD, S. M.: Oxidation of manganese by soil microorganisms. — Austr. J. Biol. Sci., **9**, 238—252, 1956.
- BÜDEL, J.: Die Frostschutzone Südostspitzbergens. — Colloquium Geographicum, **6**, Bonn 1960.
- CAILLEUX, A.: Génèse possible de dépôts chimiques par congélation. — C. R. des Séances de la Soc. Geol. de France, **1**, 11, 1964.
- : Quaternary secondary chemical deposition in France. — The Geol. Soc. of Am. Spec. Paper **84**, 125—139, 1965.
- : Actions du vent et du froid entre le Yukon et Anchorage, Alaska. — Geografiska Annaler, **49**, 145—154, 1967.
- CAMERON, R. E.: Terrestrial Algae of southern Arizona. — Trans. Amer. Microscop., **83**, 212—218, 1964.

- W. E. KRUMBEIN — Über den Einfluß der Mikroflora auf die exogene Dynamik
- DAN, J.: The desintegration of Nari lime crust in relation to relief soil and vegetation. — Photointerpretation Delft, 189—194, 1962.
- DAVIS, J.: Petroleum Microbiology. — 604 S., 1967.
- DE ROZIERE: Description de l'Égypte, 1813. — Zit. nach Linck, (1930).
- DUFF, R. B., WEBLEY, D. M. & SCOTT, R. O.: Solubilization of minerals by 2-ketogluconic acid producing bacteria. — Soil Science, **95**, 105—115, 1963.
- ENGEL, C. B. & SHARP, R. P.: Chemical data on desert varnish. — Bull. Geol. Soc. America, **69**, 487—518, 1958.
- EVENARI, M.: The Challenge of a desert. — N. York (im Druck).
- FRIEDMANN, I.: Xerophytic Algae in the Negev desert. — Abstr. 10th Int. Bot. Congr. (Edinburgh), 290—291, 1964.
- FRIEDMANN, I., LIPKIN, Y. & OCAMPO-PAUS, R.: Desert Algae of the Negev. — Phycologia, **6**, 185—200, 1967.
- GOLDICH, S. S.: A study in rock weathering. — J. Geol., **46**, 17—58, 1938.
- HALVORSON, H. O. & STARKEY, R. L.: Studies on the transformation of iron in nature III. — Soil Science, **32**, 141—165, 1931.
- HÖGBOM, B.: Wüstenerscheinungen in Spitzbergen. — Bull. of the Geol. Inst. Uppsala, **11**, 1912.
- HÖLLERMANN, P.: Verwitterungsrinden in den Alpen. — Z. f. Geomorphologie, **7**, 172—177, 1963.
- HUNT, C. B.: Desert Varnish. — Science, **120**, 183—184, 1954.
- JAAG, O.: Unters. über die Vegetation und Biologie der Algen des nackten Gesteins in den Alpen, Jura und Schweizer Mittelland. — Beitr. Kryptogamenfl. Schweiz, **9**, 1945.
- KAISER, E.: Die Diamantwüste Südafrikas. — Berlin 1926.
- KELLER, W. P.: Mineral and chemical Aluviation in a unique pedologic example. — J. o. Sed. Petrogr., **31**, 80—86, 1961.
- KILLIAN, C. & FEHRER, D.: Recherches sur la microbiologie des sols désertiques. — Encycl. Biol., **21**, Paris 128 S., 1939.
- KLUTE, F. & KRASSER, L. M.: Über Wüstenlackbildung im Hochgebirge. — Petermanns Geol. Mitt., **86**, 21—22, 1940.
- KNAUST, W.: Über Sole von Eisenhydroxyd und Manganhydroxyd in ihrer Beziehung zur Bildung der sogenannten Schutzrinden und des Laterits. — Chemie der Erde, **4**, 67—69, 1930.
- KNETSCH, G.: Über aride Verwitterung unter bes. Berücksichtigung natürl. u. künstl. Wände in Ägypten. — Z. f. Geomorphologie, Suppl. **1**, 190—205, 1960.
- KOCH, W.: Cyanophyceenkulturen, Anreicherungs- und Isolationsverfahren. In Anreicherungskultur u. Mutantenauslese. — Zentralbl. f. Bakteriologie I. Abt. Suppl. **1**, 415—431, 1964.
- KRASSILNIKOFF, N. A.: Rôle des microorganismes dans l'érosion des différentes types de roches. — Mikrobiologiya **20**, 90, 1951.
- KRAUSKOPF, K. B.: Separation of Manganese from iron in sedimentary processes. — Geochim. et Cosmochim. acta, **12**, 61—84, 1957.
- KRUMBEIN, W. E.: Zur Frage der Gesteinsverwitterung (über geochemische und mikrobiologische Bereiche der exogenen Dynamik). — Diss., Würzburg 1966.
- : Geomicrobiology and geochemistry of lime-crusts in Israel. — (Im Druck.)
- KRUMBEIN, W. E. & POCHON, J.: Ecologie bacterienne des pierres alteres des monuments. — Ann. Inst. Pasteur, **107**, 724—732, 1964.
- KRUMBEIN, W. E., POCHON, J. & CHALVIGNAC, M.: Recherches biologiques sur le Mondmilch. — C. R. Acad. Sci. Paris, **258**, 5113, 1964.

- KUZNETSOV, S. I. (Hrsg.): Introduction to Geological Microbiology. — 1962. Int. Ser. in Earth Sci. Übers., 252 S., New York, 1963.
- LANGE, O. & ZIEGLER, H.: Der Schwermetallgehalt von Flechten aus dem Acroporetum sinopicae auf Erzschlackenhalde des Harzes, I. Eisen und Kupfer. — Mitt. der floristisch-soziologischen Arbeitsgem. N. F., **10**, 156—183, 1963.
- LAUDERMILK, J. D.: On the origin of desert varnish. — Am. J. of Science, **21**, 51—66, 1931.
- LEFEVRE, M., POCHON, J., LAPORTE, G. & CHALVIGNAC, M.: Sur la decontamination bactérienne et algale de la Grotte de Lascaux. — 1964.
- LINCK, G.: Über die dunklen Rinden der Gesteine in der Wüste. — Jenaer Z. f. Naturwiss., **35**, 329—336, 1901.
- : Die Schutzrinden. — In: Handbuch der Bodenlehre, 490—505, Springer Berlin, 1930.
- LUCAS, A.: The blackened rocks of the Nile cataracts and of the Egyptian deserts. — Egypt Geol. Surv. Rept., 55 S., 1905.
- MARTELL, A. E. & CALVIN, M.: Chemistry of metal chelate compounds. — Prentice Hall, New York, 1952.
- MÜLLER, G. & FÖRSTER, I.: Zum Problem der Nährstofffreisetzung aus Mineralen durch Bodenpilze. — Zentralbl. f. Bakteriologie, II, **116**, 372—409, 1963.
- MULDER, E. G. & VAN VEEN, W. L.: Investigations on the Sphaerotilus-Leptothrix group. — Antonie v. Leeuwenhoek, **29**, 121—153, 1963.
- PAINE, S. & LINGOOD: Phil. Trans. of the Roy. Soc. London, **222**, 1933.
- PARKER, C. D.: The corrosion of concrete. — Aust. Journ. biol. med. Sci., **23**, 91, 1945 a.
- POCHON, J., BOURCART, J., NOETZLIN, J.: Etude des détériorations des pierres des monuments historiques. — Ann. Inst. techn. Bat. et T. P., **108**, 1949.
- POCHON, J. & BARIAC, H.: Traité de microbiologie du Sol. — 685 S., 1958.
- POHLMANN, G. & OBERLIES, F.: Über die Einwirkungen von Mikroorganismen auf Ton, Feldspat und Glas. — Abh. Int. Keram. Kongreß, 1958.
- POSTGATE, J. R.: The economic activities of sulfate reducing bacteria. — Progress in industrial Microbiology, **2**, London 1960.
- PRINGSHEIM, E. G.: Algenreinkulturen, ihre Herstellung und Erhaltung. — Jena 1954.
- REDISKE, J. H. & BIDDULPH, O.: The adsorption and translocation of iron. — Plant Physiol., **28**, 1953.
- SCHAEFFER, F. B., MEYER, B. & KALK, E.: Biologische Ursachen der Wüstenlackbildung. — Z. f. Geomorphologie, **7**, 112—119, 1963.
- SCHWABE, A.: Blaualgen aus ariden Böden. — Forschungen u. Fortschritte, **34**, 194—197, 1963.
- SCHWARTZ, W. & MÜLLER, A.: Geomikrobiologie: Stand und Entwicklung eines neuen Forschungsgebietes. — Erdöl u. Kohle, **9**, 1953.
- SCHWEISFURTH, R. & GATTOW, G.: Untersuchungen über Röntgenstruktur und Zusammensetzung mikrobiell gebildeter Braunsteine. — Z. f. allg. Mikrobiologie, **6**, 303—308, 1966.
- SILVERMANN, M. P. & EHRLICH, H. L.: Microbial formation and degradation of minerals. — Adv. appl. Microbiology, **6**, 153—206, 1964.
- TYLER, P. A. & MARSHAL, K. C.: Microbial oxidation of manganese in hydroelectric pipe-lines. — Antonie v. Leeuwenhoek, **33**, 171—183, 1967.
- WAGNER, E. & SCHWARTZ, W.: Untersuchungen über die mikrobielle Verwitterung von Kalkstein im Karst. — Z. f. Allg. Mikrobiologie, **5**, 52—76, 1965.

W. E. KRUMBEIN — Über den Einfluß der Mikroflora auf die exogene Dynamik

WAGNER, M. & SCHWARTZ, W.: Geomikrobiologische Untersuchungen IX. Verwertung von Gesteins- und Mineralpulvern als Mineralsalzquelle für Bakterien. — Z. f. Allg. Mikrobiologie, 7, 129—141, 1967.

WALTHER, J.: Das Gesetz der Wüstenbildung. — Jena 1912.

WHITE, C. H.: Desert Varnish. — Am. J. of Science, 7, 413—420, 1924.

ZAHN, G. W. VON: Wüstenrinden am Rande der Gletscher. — Chemie d. Erde, 4, 145—156, 1930.

ZO BELL, C. E. & MORITA, R. Y.: Bacteria in the deep sea. — The Galathea Deep Sea exped. (MacMillan a. Co.), 202—210, 1956.

Ein Beitrag zu KRUMBEIN: Über den Einfluß der Mikroflora auf die exogene Dynamik (Verwitterung und Krustenbildung)

VON A. CAILLEUX, Paris *)

Zusammenfassung

Jüngste Arbeiten zeigen, daß rezente Karbonat-, Eisen-, Mangan- und Kieselsäurekrusten sekundär durch Lösungsverdunstung, durch Gefrieren und durch Bakterieneinwirkung gefällt werden können.

Abstract

Recent investigations demonstrate that recent crusts of carbonate, iron, manganese and silicic acid can be secondarily deposited by solution evaporation, by freezing and by action of bacteria or other microorganisms.

Résumé

Des travaux récents démontrent que des croûtes récentes de carbonate, de fer, de manganèse et d'acide silicique peuvent être déposées secondairement par évaporation de solution, par congélation et par des bactéries ou autres microorganismes.

Краткое содержание

Как было установлено многочисленными работами, современные коры выветривания, содержащие карбонаты, кремний, железо и марганец, могут образовываться в результате самых различных процессов, происходящих на поверхности Земли, начиная от процессов вымерзания до воздействия биологических факторов (бактерии).

Herr KRUMBEIN bringt uns neue und ganz fundamentale Ergebnisse, die vollkommen mit den jüngsten Arbeiten einiger unserer Freunde und Mitarbeiter übereinstimmen. Die chemisch-sekundären Fällungen von Kalziumkarbonat, Eisen- und Manganhydroxyd sowie Kieselsäure sollen nicht

*) Anschrift des Verfassers: Prof. A. CAILLEUX, Université de Paris, Faculté des Sciences — Géologie I, 9 Quai Saint-Bernard, F-75 Paris 5e.