

Die um 90—100 mg CaCO₃/l liegenden Härte-durchschnittswerte der aus zum größten Teil vegetationsbedeckten Flächen stammenden Quellwässer entspricht den Härtewerten der Humusabflußwässer von Latschenbeständen.

Ausblick

Mit den hier beschriebenen Untersuchungen wurden neben den Werten des aktuellen Kalkabtrages auch wesentliche Anhaltspunkte für die Größenordnung des nacheiszeitlichen Kalkabtrages gewonnen. Diese Werte gelten jedoch nur für das Untersuchungsgebiet und können selbst auf benachbarte Hochkarstflächen nur mit Einschränkungen übertragen werden. So betragen die Niederschlagshöhen im südöstlichen Teil des Dachsteinmassives nur mehr rd. 70 % der im Gjaidalgebiet gemessenen, was weitgehend abweichende Lösungsabtragswerte zur Folge haben muß. Um so größer müssen die Abweichungen der Lösungsabtragswerte in voralpinen Karstgebieten (bei z. T. noch geringeren Niederschlagshöhen und unter dichter Bewaldung) sein, von außeralpinen Karstgebieten ganz zu schweigen.

Bisher wurden in den verschiedensten Karstgebieten der Erde von zahlreichen Autoren Untersuchungen über die Größe des Lösungsabtrages durchgeführt. Diese Untersuchungen mußten sich notgedrungen meist auf Einzelmessungen beschränken, da vor allem in abgelegenen, verkehrsmäßig schlecht aufgeschlossenen, manchmal nur im Rahmen von Expeditionen erreichbaren Gebieten, in den seltensten Fällen ähnliche Arbeitsmöglichkeiten bestehen wie im Dachsteingebiet. Außerdem werden die Abtragsmessungen oft nach verschiedenen Methoden durchgeführt, so daß ihre Ergebnisse nicht immer voll vergleichbar sind.

Es muß daher angeregt werden, einheitliche, möglichst einfache Methoden auszuarbeiten, die eine Erfassung des aktuellen Kalkabtrages auch unter schwierigsten Voraussetzungen gestatten und einander vergleichbare Werte liefern. In Frage kommen hierfür:

1. Bestimmung der ursprünglichen Kalklösungsfähigkeit von Wässern (Marmorversuch);
2. Erfassung von Vergleichswerten der Kalklösungsfähigkeit von Niederschlags- und Bodenwässern durch die lösungsbedingte Gewichtsabnahme von Marmorkörpern gleicher Größe, Form, Struktur und Zusammensetzung, die langfristig den Niederschlägen bzw. den Bodendurchflußwässern (eingraben!) ausgesetzt werden;
3. Bestimmung der Härte von Oberflächenabflußwässern unter Berücksichtigung des Charakters der Abflußflächen und der Niederschlagsverhältnisse;
4. Bestimmung der Härte von Karstquellwässern.

Die systematische Durchführung solcher vereinheitlichter Messungen im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit aller, in den verschiedensten Klimagebieten arbeitenden Karstmorphologen könnte ein weltumfassendes Vergleichsmaterial erbringen. Die Einleitung eines solchen Untersuchungsprogrammes (nach Festlegung einheitlicher Methoden), etwa im Rahmen eines „Karstmorphologischen Dezenniums“, müßte daher eine der Hauptaufgaben der Karstkommission bei der Internationalen Geographischen Union sein.

Literatur:

- BAUER, F.: Verkarstung und Bodenschwund im Dachsteingebiet. — Mitt. d. Höhlenkommission, Jg. 1953, H. 1.
 —: Nacheiszeitliche Karstformen in den österreichischen Kalkhochalpen. — Deuxième Congrès International de Spéléologie (Bari-Lecce-Salerno 1958), Tome I.
 BÖGLI, A.: Probleme der Karrenbildung. — Geographica Helvetica, H. 3, 1951.
 —: Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluß der Gesteinsbeschaffenheit auf die Entwicklung des Karstes. — Report of the Commission on Karst Phenomena, IGU, New York, 1956.
 —: Kalklösung und Karrenbildung. — Zeitschr. f. Geomorphologie, N. F., Suppl.-Bd. 2, 1960.
 —: Karrentische, ein Beitrag zur Karstmorphologie. — Zeitschr. f. Geomorphologie. N. F., Bd. 5, H. 3, 1961.

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS VON MIKROORGANISMEN AUF DAS PHÄNOMEN DER KARSTBILDUNG

Mit 3 Tabellen

BOLESŁAW SMYK und MARIA DRZAL

I. Einleitung

Der Verkarstungsprozess von Kalksteinen verläuft unter dem Einfluß physikalischer, chemischer und biologischer Faktoren. Die Rolle der physikalischen und chemischen Faktoren in der Entwick-

lung der Karsterscheinungen ist bereits vielseitig bearbeitet worden und bildet eines der wesentlichsten Probleme in der Karsterforschung der in verschiedenen Klimazonen gelegenen Gebiete.

Der biologische Faktor wurde bisher vor allem vom Standpunkt mechanischer und biochemischer

Einwirkung der Pflanzen auf den Kalkgesteinuntergrund untersucht.

Obwohl dieses Problem bisher nicht im Mittelpunkt des Interesses der Karstforscher stand, wurde es doch oftmals in verschiedenen, die Kalkgebiete betreffenden Arbeiten erwähnt. In letzter Zeit haben Karstforscher der Tropen- und Subtropengebiete (WISSMANN, LASSERRE, LEHMANN; LEHMANN, KRÖMMELBEIN und LÖTSCHERT, JENNINGS und BIK u. a.) auf die Bedeutung der Pflanzenwelt im Verkarstungsprozeß der Kalkgesteine hingewiesen. In den in humidwarmen Zonen gelegenen Gebieten mit üppiger Vegetation wurde eine überaus starke Entwicklung der Karstphänomene, insbesondere der Oberflächenkorrosion nachgewiesen.

Wenig Aufmerksamkeit widmete man dagegen bisher der Rolle, welche die Mikroorganismen im Umwandlungsprozeß der Kalkgesteine spielen. In der Karstliteratur (MALICKI, ROGLIC, KUNSKY, LEHMANN, KLIMASZEWSKI) finden sich lediglich allgemeine Feststellungen, daß Bakterien Einfluß auf die Felsenwandlung haben. Bisher war aber nicht bekannt, welche physiologischen Gruppen von Mikroorganismen an dem Verkarstungsprozeß teilnehmen, worauf ihre Wirkung beruht und welchen Einfluß sie auf die Entwicklung des Karstphänomens ausüben.

Gegenstand unserer im Jahre 1960 in Angriff genommenen und noch andauernden Untersuchungen ist das Problem der Mitwirkung des mikrobiologischen Faktors im Umwandlungsprozeß der Kalkgesteine.

Aus den ökologisch-mikrobiologischen Untersuchungen geht hervor, daß der mikrobiologische Faktor verschiedener Naturumwelt ein ungewöhnlich dynamisches und ungemein wechselvolles Element ist. Die Mikroorganismen weisen nämlich eine besonders große Anpassungsfähigkeit an sämtliche, für sie ungünstige Veränderungen der Verhältnisse der physikalisch-chemischen Umwelt auf, zeichnen sich durch große Vermehrungsfähigkeit aus und besitzen eine große biochemische Aktivität und Expansionsdynamik. Diese Eigenschaften weisen darauf hin, daß Mikroorganismen eine grundlegende Rolle in der Stoffumwandlung in der Natur im allgemeinen, also unter anderem in der Umwandlung des Gesteinsuntergrundes spielen.

Die ersten Untersuchungen über die Einwirkungen von Mikroorganismen auf Gesteine und Mineralien wurden u. a. von MÜNTZ, von KUNZE und von GALEOTTI gemacht. Ihnen folgten die Arbeiten BASSALIK, BACHMANN, MOLISCH, NADSON, KALANTARIAN und PETROSSIAN, BAVENDAMM, BRUSSOFF, ISACZENKO u. a.

Von den neueren Arbeiten seien u. a. die von MUROMZEW, SPERBER, OBERLIES u. POHLMANN, NIKITIN, ENO u. REUSZER, VINTIKOVA, WEBLEY,

DUFF u. MITCHELL, DUFF und WEBLEY, TESIĆ und TODOROVIC, HESS, BACH und DEUEL, KÖNIG, MÜLLER und FÖRSTER, TARDIEUX-ROCHE, SMYK und DRZAL, SMYK und ETTLINGER u. a. genannt.

Es ist bekannt, daß die von den Mikroorganismen ausgeschiedenen oder im Nährsubstrat gebildeten organischen und anorganischen Säuren und andere Stoffwechselprodukte, wie z. B. Bakterien-schleime; 2-Ketoglukonsäure u. a., bei der Freisetzung von Pflanzennährstoffen eine wichtige Rolle spielen. Inwieweit jedoch dieses Freisetzungsvermögen bei den wichtigsten Arten der Bodenbakterien und Bodenpilze unseres Klimaraumes ausgeprägt ist, darüber liegen wenig experimentell bestätigte Erfahrungen vor.

Die biochemisch-mikrobiologische Auflösung der Karstgesteine wird nur wenig in der Literatur behandelt. Bekannt sind in dieser Beziehung nur die allgemeinen Arbeiten von BLÖCHLIGER und DÜGGLELI. SMYK und DRZAL (53) haben von der Oberfläche von Karstfelsen zahlreiche Mikroorganismen isoliert, die möglicherweise beim Prozeß der Karstbildung eine aktive Rolle spielen. Sie gehören ganz verschiedenen physiologischen Gruppen an und weisen mit Regelmäßigkeit auch sogenannte „Silikatbakterien“ auf, obwohl der Kieselsäureanteil im Karstgestein sehr gering ist.

Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluß der Gesteinsbeschaffenheit auf die Entwicklung des Karstes, Kalklösung und Karrenbildung wurde durch BÖGLI beschrieben.

Zahlreiche Arbeiten (BACHRA, CLAUS-WITTMANN und RIPPEN-BALDES, DREWES, DUFF und WEBLEY, GOLEBIEWSKA, GOLEBIEWSKA und MYSKOW, HEINEN, HOPKINS, KELLEY, LOUW und WEBLEY, OMELIANSKI u. a.) aus dem Bereich der Bodenmikrobiologie weisen darauf hin, daß Mikroorganismen in der Umwandlung der Mineralverbindungen des Bodens eine wichtige Rolle spielen. Es ist jedoch bekannt, daß der Zersetzungsverlauf von Mineralverbindungen (z. B. Kalzium, Phosphor usw.) von der Summe der physikalisch-chemischen und biologischen Prozesse abhängt.

Laut Anweisung der Kommission für Karstforschung IGU (Rio de Janeiro — 1956) über die Notwendigkeit einer Inangriffnahme weitgreifender Untersuchungen über die Rolle des „biologischen Faktors“, wurden in Polen im Jahre 1960 in den Kalkgebieten Untersuchungen über das Vorkommen von Mikroorganismen sowie über ihre Rolle in der Entwicklung des Karstphänomens in die Wege geleitet.

Wir hofften, auf diesem Wege eine Bestätigung unserer theoretischen Erwägungen zu finden, die die Möglichkeit des Vorhandenseins von Mikroorganismen nicht nur auf der Oberfläche, sondern auch im Inneren des Felsens zulassen, und die in

gewisser biochemischer Weise eine bestimmte Rolle in den Umwandlungsprozessen des Kalkgesteinuntergrundes spielen.

Die Untersuchungsarbeiten umfassen bis jetzt folgende ausgewählte Gebiete, in denen Kalkgestein vorkommt:

- a) *Polen*: Góry Świętokrzyskie, Roztocze, Wyżyna Krakowska, Pasma Skalicowe, Tatry;
- b) *Jugoslawien*: Dalmatien, Istrien;
- c) *Schweiz*: Vallée de Joux — Juragebiet; Sottoceneri — Monte San Salvatore, Glattalp, Berninapass — Piz Alv — im Alpengebiet;
- d) *Tschechoslowakei*: Liptovské Hale, Belanské Tatry, Nizke Tatry.

II. Material und Methoden

1. Der Gesteinsuntergrund und seine Charakteristik

Die Kalkgesteine der untersuchten Gebiete gehören verschiedenen tektonischen Zonen an, ihre Genese ist unterschiedlich. Ihrem Alter nach gehören sie dem Devon (z. B. Góry Świętokrzyskie), der Trias (z. B. Sottoceneri), dem Jura (z. B. Wyżyna Krakowska, Vallée de Joux, Glattalp), sowie der Kreide und dem Tertiär (z. B. Istrien, Dalmatien, das polnische Pasma Skalicowe, die Tatra) an.

Lithologisch sind hier verschiedene Typen von Kalkgesteinen vertreten, und zwar: Klippenkalkstein, Tafelkalkstein, Mergel- und Sandkalkstein, dolomitischer Kalkstein und Dolomit.

Gemeinmerkmal (mit einigen wenigen Ausnahmen, z. B. der Sandkalkstein der Trias) aller untersuchten Kalkgesteine ist der, durchschnittlich 53 % betragende, große Gehalt von CaO. Die Werte anderer Grundstoffe und chemischer Verbindungen, d. h. Bestandteile der Gesteine, sind ziemlich wechselnd, insbesondere was SiO₂ und Al₂O₃ betrifft.

Ein überwiegender Teil der oben angeführten Kalkgesteinstypen ist hart und dicht und deutlich widerstandsfähig gegen mechanisch-physische Faktoren, insbesondere unter günstigen mikrotektonischen Umständen.

Naturgemäß interessierten uns vor allem die Phänomene des Oberflächenkarstes, namentlich die Kleinformen. Der größte Teil der ausgewählten Gebiete hat auf der entblößten Kalkfläche entwickelte, klassische Oberflächenformen. Sie liegen in Höhen von rund 250 m (einige Gebiete Polens und Jugoslawiens) bis etwa 2500 m ü. M. (einige Gebiete der Alpen).

2. Methodik

Die für lithomikrobiologische Untersuchungen ausgewählten Gebiete entsprachen folgenden Bedingungen:

- a) Die Durchführung der Forschungen sollte in möglichst natürlicher Umwelt gesichert sein. In den meisten Fällen waren es — der menschlichen Wirtschaftstätigkeit unzugängliche — Schutzgebiete.
- b) Die Lage der untersuchten Oberflächen, insbesondere der Punkte, denen die Proben entnommen wurden, wurde so gewählt, daß möglichst wenig Nebenverunreinigungen zu erwarten waren.
- c) Der Untergrund war aus Gestein von hohem CaCO₃-Gehalt aufgebaut.
- d) Die Untersuchungen wurden unter Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse, der absoluten Höhe, der Exposition, der Hangneigung sowie der Lage des Punktes, welchem die Gesteinsproben entnommen wurden (Tiefe, Feuchtigkeit usw.), durchgeführt.

Laut Arbeitsplan dieser Abhandlung haben wir folgende Untersuchungen durchgeführt:

- a) *geomorphologische* in ausgewählten Karstgebieten mit besonderer Berücksichtigung der an der Oberfläche auftretenden Mikrokarsterscheinungen,
- b) *chemisch-petrographische*, welche die lithologischen Merkmale des Kalkuntergrundes bezeichnen,
- c) *mikrobiologische*.

Die mikrobiologischen Untersuchungen berücksichtigten folgende Richtungen:

1. Die Bestimmung des Vorkommens einzelner physiologischer Mikroorganismen-Gruppen (Autotrophen und Heterotrophen), und zwar von:
 - a) Ammonifikatoren
 - b) Nitrifikatoren (nitrifizierende Mikroorganismen)
 - c) Aerobe Assimilatoren molekularen Stickstoffs
 - d) Anaeroben Assimilatoren molekularen Stickstoffs
 - e) Schwefelbakterien
 - f) Kalziumkarbonate (CaCO₃) zersetzenden-auflösenden Mikroorganismen
 - g) Kalziumphosphate (Ca₃(PO₄)₂) zersetzenden-auflösenden Mikroorganismen
 - h) Alumosilikate zersetzenden-auflösenden Bakterien.
2. Systematische Bestimmung der im Kalkgestein während des Verkarstungsprozesses tätigen Mikroorganismen.
3. Untersuchung des Einflusses einzelner Produkte des Metabolismus ausgewählter Mikroorganismen auf die Zersetzung — Auflösung der Carbonate und Phosphate sowie der Alumosilikate.

Mikrobiologische Untersuchungen wurden in Anlehnung an die in der Publikation von SMYK und DRZAL, SMYK und ETTlinger angeführten Methodik vorgenommen. Die Fähigkeit der Bak-

terien, Alumosilikate zu zersetzen, wurde auf dem Nährboden ALEKSANDROW'S wie folgt durchgeführt:

Glukose	5,0 g
/NH ₄ / ₂ SO ₄	1,0 g
Na ₂ HPO ₄	2,0 g
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0,5 g
FeCl ₃ /1 0/0 Sol./	Spur
Agar-Agar	20,0 g — oder „Silicagel“ ¹⁾
Alumosilikat	2,5 g
Aqua dest. zu	1000 ml

Es wurden hauptsächlich die folgenden Silikate verwendet²⁾: Andalusit, Biotit, Chabasit, Glaukonit, Kaolin, Montmorillonit, Muskovit, Olivin, Orthoklas, Sillimanit mit Quarz, Wollastonit, Uranophan (Uranotil).

Bei der Arbeit wurden (außer Alumosilikaten) nur Chemikalien vom Reinheitsgrad „pro analysi“ („p. a.“), Erlenmeyerkolben, Petrischalen u. a. aus Jenaer Glas; Petrischalen aus Plastik verwendet.

Die Bestimmung der 2-Ketoglukonsäure lehnt an die Methode von LANNING und COHEN in der Modifikation von DUFF und WEBLEY an.

Die systematische Bezeichnung der isolierten Mikroorganismen wurde auf Grund eingehender diagnostischer Studien (morphologische Untersuchungen, biochemische und physiologische Studien usw.) in Anlehnung an Grundmaterial aus dem Bereich der Diagnostik und der Systematik der Mikroorganismen durchgeführt.

III. Ergebnisse

1. Das Vorkommen der Mikroorganismen in den Karstgebieten und ihre biochemische Charakteristik

Auf Grund der in den Jahren 1960—1963 durchgeführten lithomikrobiologischen Untersuchungen wurde das Vorkommen einzelner physiologischer Gruppen von autotrophischen Bakterien (Autotrophen — autotroph. mit Photosynthese und mit Chemosynthese) und heterotrophischen Bakterien (Heterotrophen) festgestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in Tab. 1 und 2 (nur fragmentarisch, in Ausschnitten) dargestellt.

In den Proben des Gesteins stellte man das Vorkommen von Bakterien, Streptomyceten (*Actino-*

¹⁾ Kieselsäuregallerten: 1 Vol. Orthokieselsäure-tetraäthylester [Si (OC₂H₅)₄] wird 1 Vol. Aetanol gemischt; unter Umrühren werden langsam 6 Vol. siedendes Wasser beigefügt. Zentrifugieren und Plattengießen. Autoklavieren bis 120° C während 30—40 Min. (Gelbildung). Nach der Abkühlung mit sterilem Wasser waschen und mit dem gewünschten Substrat übergießen. Ev. nochmals sterilisieren.

²⁾ Für die Überlassung der Silikate und verschiedener Mineralien (z. B. Karbonate u. a.) bin ich Herrn Prof. Dr. A. GANSSER, Vorstand d. Geolog. Instituts der ETH, Zürich — und Herrn Dr. J. NEHER, Geolog. Institut der ETH., Zürich zu Dank verpflichtet.

mycetales) und Pilzen (*Microfungi*) fest. Am häufigsten waren folgende physiologische Bakteriengruppen vertreten: Ammonifikatoren, Nitrifikatoren, Schwefelbakterien, Schwefelpurpurbakterien (photolithotroph und photoorganotroph), aerob stickstofffixierende Bakterien (z. B. *Arthrobacter sp.?*, *Azotobacter sp.?*) sowie anaerob stickstofffixierende Bakterien (z. B. *Clostridium pasteurianum*), Kalziumkarbonate zersetzende — auflösende Bakterien, Kalziumphosphate zersetzende — auflösende Bakterien, Alumosilikate auflösende Bakterien u. a., die mit verschiedener Häufigkeit an den einzelnen Untersuchungsstellen auftraten (Tab. 1).

Unter den aus dem Gesteinsmaterial isolierten heterotrophischen Bakterien (Heterotrophen) waren am zahlreichsten 2-Ketoglukonsäure bildende Mikroorganismen und ähnlich wirkende Agenzien (Tab. 2) vertreten.

Einzelne der ausgesonderten Bakterien von der Gattung *Arthrobacter* besitzen die Fähigkeit, atmosphärischen Stickstoff zu assimilieren (Tab. 3) (*Smyk und Ettlinger*).

Wie man sieht, sind alle geprüften *Arthrobacter*-stämme zu einer recht beträchtlichen Stickstofffixierung befähigt, die sich in einigen Fällen direkt mit der von *Azotobacter chroococcum* messen kann. Im Durchschnitt der guten Nährlösungen wurden jeweils in 12 Tagen durch *Arthrobacter*-stämme 200—300 µg/ml Stickstoff fixiert. Da die Nährlösung 1 0/0 Glucose enthielt und diese in den guten Nährlösungsreihen nach 12 Tagen vollständig verbraucht war, betrug die Ausbeute 20—30 mg Stickstoff/g verbrauchten Zuckers. Das sind vergleichsweise sehr gute und auf jeden Fall signifikante Werte. Um so erstaunlicher scheint es, daß die Fähigkeit von *Arthrobacter*-arten, Stickstoff zu fixieren, unseres Wissens bisher noch nie beobachtet wurde.

Die erwähnten *Arthrobacter*-stämme traten hauptsächlich in den schweizerischen Karstgebieten der Alpen und des Jura auf.

Einzeln auftretende Streptomyceten (*Actinomyceten*) sind befähigt, Kalziumkarbonate und Kalziumphosphate aufzulösen.

Die aus den untersuchten Gebieten isolierte zahlreiche Mikroflora (*Fungi*, *Microfungi*) weist verschiedene biochemische Fähigkeiten auf, wie z. B. Ammonifikationsfähigkeit, Auflösungs-fähigkeit von Kalziumkarbonaten und Kalziumphosphaten, Freisetzung von Kalium aus Alumosilikaten usw. Jedoch ist die biochemische Aktivität dieser Mikroorganismengruppe im Vergleich mit Bakterien geringer.

Um das Auftreten der Mikroflora in den untersuchten Kalkgebieten zu bewerten, muß gesagt werden, daß, im qualitativen Sinne, am zahlreich-

Tabelle 1
 Vorkommen von einigen physiologischen Gruppen von Mikroorganismen
 auf der Oberfläche von Karstfelsen der Karstgebiete

Herkunft und Untersuchungspunkt	Physiologische Gruppen von Mikroorganismen:								Schwe- fel- bakte- rien	Be- mer- kungen
	Ammoni- fikatoren	Nitrifi- katoren	Stickstofffixierende Bakterien		Zersetzende - auflösende:					
			aerob	anaerob	CaCO ₃	Ca ₃ /PO ₄ / ₂	Alumosili- kate			
I. Polen										
1. Góry Świętokrzyskie										
a) Zelejowa										
Untersuchungspunkt „A“										
355 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 1/6										
	x	x	○	○	x	xxx	x	x		
Nr.: Probe/Analyse 2/12										
	x	x	x	x	xx	xxx	x	○		
Nr.: Probe/Analyse 4/24										
	x	xx	○	x	x	xxx	x	○		
Untersuchungspunkt „B“										
355 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 6/36										
	x	x	x	x	x	xx	○	x		
Nr.: Probe/Analyse 8/48										
	xx	○	○	x	xx	xx	○	○		
Untersuchungspunkt „C“										
350 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 9/54										
	xxx	xx	x	x	xx	xxx	xx	x		
b) Miedzianka										
Untersuchungspunkt „D“										
350 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 2/66										
	x	x	○	x	x	x	xx	x		
2. Roztocze										
Untersuchungspunkt „E“										
310 m u. d. M. Szozdy										
Nr.: Probe/Analyse 5/90										
	x	x	x	x	x	x	x	x		
Untersuchungspunkt „F“										
310 m u. d. M.										
Hudarówka-Zwierzyniec										
Nr.: Probe/Analyse 8/108										
	xx	xx	x	x	xx	x	x	x		
3. Wyzyna Krakowska										
Untersuchungspunkt „G“										
Ojców National Park										
340 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 2/120										
	x	○	○	○	xx	xxx	x	○		
Untersuchungspunkt „H“										
Nr.: Probe/Analyse 5/144										
	xxx	x	x	○	x	xx	○	x		
Untersuchungspunkt „J“										
Pieskowa Skała										
350 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 8/180										
	x	○	x	○	xx	xx	x	x		
Untersuchungspunkt „JJ“										
Panienskie Skały										
290 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 1/198										
	xx	○	x	x	x	x	x	x		
4. Pasma Skalicowe										
Untersuchungspunkt „K“										
Czorsztyn 480 m. u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 12/222										
	x	x	○	○	○	xx	xx	x		
Krościenko 430 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 6/268										
	x	x	○	○	x	xx	xx	○		
Untersuchungspunkt „M“										
Biała Woda 700 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 3/292										
	○	○	○	○	x	x	x	○		
Homole 630 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 2/316										
	○	○	○	x	x	x	x	○		
Obłazowa 670 m u. d. M.										
Nr.: Probe/Analyse 5/346										
	x	x	x	x	x	xx	xx	x		

Herkunft und Untersuchungspunkt	Physiologische Gruppen von Mikroorganismen:								Bemerkungen
	Ammonifikatoren	Nitrifikatoren	Stickstofffixierende Bakterien		Zersetzende - auflösende:			Schwefelbakterien	
			aerob	anaerob	CaCO ₃	Ca ₃ /PO ₄ / ₂	Alumosilikate		
II. Jugoslawien									
1. Dalmacija Untersuchungspunkt „P“ 250 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 7/364	× ×	×	×	×	×	×	× × ×	× ×	×
2. Istrija Untersuchungspunkt „R“ 300 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 4/382	× ×	×	×	○	○	× ×	× × ×	× ×	×
III. Schweiz									
1. Sottoceneri a) Monte San Salvatore 900 m u. d. M. Untersuchungspunkt „S“ Nr.: Probe/Analyse 2/412	N S W	× × × × ×	× × ×	× × × × × ×	○ — ×	× × × × ×	× × × ×	× × × × ×	× × x ¹⁾ × ×
2. Glattalp Untersuchungspunkt „T“ 1880—1900 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 1—4/418—440	N S SSE	× × ×	× × ×	× ²⁾ × ²⁾ × ²⁾	○ ○ ○	× × × × × ×	× × ×	× × × × × ×	○ × ○
3. Berninapaß a) Piz Alv Untersuchungspunkt „U“ 2490—2580 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 4/464 SW		×	○	× ²⁾	×	×	×	× ×	—
4. Vallee de Joux Untersuchungspunkt „W“ Mont Tendre 1676 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 3/482		× ×	× ×	×	×	× × ×	× ×	×	× x ¹⁾
Untersuchungspunkt „Z“ Mont de Biere 1455 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 5/495		×	× ×	×	×	× ×	× ×	×	× x ¹⁾
IV. Tschechoslowakei									
1. Liptovske hale Untersuchungspunkt „X“ 1500 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 3/515		× ×	×	○	○	× ×	× ×	× ×	× x ¹⁾
2. Belanske Tatry Untersuchungspunkt „Y“ 1180 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 5/535		× ×	×	○	○	×	×	× ×	○
3. Nizke Tatry Untersuchungspunkt „YY“ 1254 m u. d. M. Nr.: Probe/Analyse 3/550		× ×	×	×	×	× ×	× ×	× ×	×

¹⁾ Photosynth. Schwefelpurpurbakterien (photolithotroph und photoorganotroph gewachsen) und Chloromikroben

²⁾ Arthrobacter sp. sp.? — die molekularen Stickstoff fixieren

Tabelle 3
Stickstoffassimilation
durch isolierte Arthrobacterstämme aus den Karstgebieten

Zusätze	CaCO ₃	Orthoklas	Uranophan	CaCO ₃ + Orthoklas	—	CaCl ₂	Biotin
Organismen	N-fixierung in ug N/ml						
Azotobacter chroococcum	239,8	118,9	189,1	347,1	17,1+	85,1	38,8+
Arthrobacter sp. Stamm							
„A III“	280,0	137,7	139,3	428,4*	31,6+	78,6±	42,8+
„A I“	198,0	108,8	105,8	324,8	20,5+	60,0±	18,0+
„U“	131,2	119,6	161,2	208,5*	17,9+	57,0	43,5+
„V ₄ “	184,8	127,9	165,6	236,9	19,8+	73,9±	21,6+
„V ₂ “	149,7	150,5	189,5	272,4	49,6+	85,8±	54,8+
„W I“	130,0	176,4	205,9	276,0	31,8+	65,6±	31,7+
„W II“	154,0	193,2	207,7	220,3*	39,0+	44,4±	27,5+
Bacillus subtilis	0,0	4,5	4,5	4,6	0,1	0,0	0,0
Mittelwerte	177,4	138,3	169,1	280,2	29,9	70,1	36,2
In % (CaCO ₃ = 100 %)	100	78	95	157	17	39	23

+ = Fehlingreaktion positiv,

± = Spuren von Glukose,

* = Auflösung von Silikaten,

Grundnährlösung nach Burk: Glucose 10,0 g; MgSO₄ · 7H₂O 0,5 g; NaCl 0,5 g; K₂HPO₄ 1,0 g; FeSO₄ · 7H₂O 0,1 g; Na₂MoO₄ · 2H₂O 5 ug; MnSO₄ · 4H₂O Spuren; Aqua dest. zu 1000 ml.
Zusätze: 2,5 g/1000 ml; Biotin 5 ug/1000 ml.

Alle Werte sind Mittel aus Parallelbestimmungen

Schwefelverbindungen oxydierende Bakterien; d) Schwefel und Schwefelsäure oxydierende Bakterien. Diese Mikroorganismen wirken auf den Untergrund in hohem Maße ein, indem sie verhältnismäßig große Mengen Schwefelsäure abgeben. Diese Bakterien sind in saurem Milieu wirksam.

Kalziumphosphat [Ca₃(PO₄)₂] zersetzende-auflösende Bakterien treten in den untersuchten Kalkgebieten ebenfalls zahlreich auf. Zahlreich sind auch Kalziumkarbonate auflösende Bakterien.

Die biochemische Aktivität der obengenannten Mikroorganismen ist sehr groß.

Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei den Aufbau- prozessen der Karstmikroformen in den Kalkgebieten auch noch andere Gruppen autotropher Bakterien teilnehmen, wie z. B. „Silikatbakterien“. Der Anteil dieser Bakterien an der Zersetzung der Alumosilikate und möglicherweise auch anderer Komponenten des Kalkgesteins ist vom Gesichtspunkt des Chemismus der Karstphänomene sehr wesentlich.

Über die Wirkungsweise dieser Organismen wurden verschiedene Theorien aufgestellt.

So denken HESS, BACH und DEUEL an eine Spaltung mit Hilfe von O-Diphenolen; ROSENHEIM, REIBMANN und SCHENDEL an eine Spaltung

mit Hilfe von Brenzkatechin¹⁾ (zit. HESS, BACH und DEUEL) DUFF und WEBLEY, WEBLEY, DUFF und MITCHELL an Chelatbildung durch 2-Ketoglukonsäure und ähnlich wirkende Agenzien.

Die Zersetzung von Alumosilikaten durch die „Silikatbakterien“ ist vielleicht auf O-Diphenole zurückzuführen. Bei der Reaktion entstehen zum Teil lösliche niedermolekulare Abbauprodukte noch unbekannter Konstitution. Es handelt sich dabei um silizium-organische Ester oder um Komplexe mit Si⁴⁺. Durch die Bildung löslicher Abbauprodukte wird die Silikatzerersetzung beschleunigt; im Boden können lösliche Abbauprodukte im Profil verlagert oder gänzlich aus dem Profil ausgewaschen werden (HESS und Mitarb.)

¹⁾ Brenzkatechin und andere O-Diphenole entstehen intermediär auch beim Abbau aromatischer Verbindungen durch verschiedene Bodenmikroorganismen (H. S. MASON und W. C. EVANS — zit. HESS, BACH und DEUEL). Polyphenole sind in Pflanzen und vielleicht auch im Boden verbreitet. Reaktionen mit Brenzkatechin und anderen Polyphenolen könnten deshalb bei der Bodenbildung eine Rolle spielen.

Der Angriff von Brenzkatechin und verwandten Verbindungen auf Silikagel, Glas, Quarz und Silikate wird neustens in der Glas- und in der Silikoseforschung eingehend untersucht.

Heterotrophe Bakterien, die unter anderen auch 2-Ketoglukonsäure („natural chelator“) bilden, nehmen ebenfalls an dem Chemismus des Auflösungsprozesses des Kalkgesteins teil.

Für die Richtigkeit dieser Behauptung bzw. Vermutung sprechen die letzten Arbeiten der englischen Forscher DUFF und WEBLEY, die darauf hinweisen, daß Bodenbakterien, z. B.: *Bacillus megaterium* u. a., deren Anwesenheit auf Kalkgesteinen ebenfalls nachgewiesen wurde, aktiven Anteil an der Auflösung von schwerlöslichen Kalziumphosphaten und Alumosilikaten haben, indem sie u. a. 2-Ketoglukonsäure erzeugen. Der Prozeß besteht darin, daß Kalzium (Ca) von Mineralphosphaten und Alumosilikaten befreit wird. Obige, in den Bereich des Metabolismus der Mikroorganismen fallenden Arbeiten, die bei Anwendung von synthetischen und natürlichen Phosphaten, Kalziumkarbonaten, Alumosilikaten u. a. im Wege der Papierchromatographie durchgeführt wurden, sprechen deutlich für den Anteil des mikrobiologischen Faktors in den chemischen Umwandlungsercheinungen der Karstphänomene.

Wir sind der Ansicht, daß Algen ebenfalls eine gewisse Rolle in den Verkarstungsprozessen spielen. Es leben an der Oberfläche des (vorher infolge biochemischer Einwirkung von Mikroorganismen vorbereiteten) Gesteins Cyanophyceen, Chlorophyceen, Diatomeen und möglicherweise noch andere Organismen (z. B. Chloromikroben, grüne Bakterien), welche CO₂ aus der Luft assimilieren und ihre organische Substanz synthetisieren wie höhere Pflanzen, also im Wege der Photosynthese. In der Felsentiefe können sie Chlorophyll einbüßen und saprophytisch infolge Zersetzung der organischen Substanz weiterexistieren.

2. Der Einfluß von Mikroorganismen auf das Phänomen der Karstbildung

Das oben erwähnte Versuchsmaterial und die Auslegung, daß Mikroflora bei der biochemischen Umwandlung des Kalkgesteins mitwirkt, weist darauf hin, daß Mikroorganismen bei den Umwandlungen, die in den im Verkarstungszustand befindlichen Kalkgebieten vor sich gehen, eine wesentliche Rolle spielen.

Wenn wir die verschiedenen chemisch-physikalischen Faktoren, die auf die entblößte Kalksteinoberfläche der untersuchten Gebiete einwirken, in Betracht ziehen, so kommen wir zu dem Schluß, daß der Anteil von Mikroorganismen an dem Verkarstungsprozeß wesentlich ist. Die Mikroflora, die wir isoliert haben, repräsentiert verschiedene autotrophe und heterotrophe Bakterien, Streptomyceten und Pilze von verschiedenen biochemischen Fähigkeiten. Die metabolische Tätigkeit dieser Mikroflora ist sehr mannigfaltig und kompli-

ziert. Die Einwirkung der erwähnten Mikroflora auf das Kalkgestein, auf die Dynamik der Phosphor-, Kalk-, Karbonverbindungen u. a. ist ebenfalls kompliziert. Wenn wir nur die metabolische und biochemische Tätigkeit der isolierten Autotrophen und Heterotrophen (Mikroorganismen) erwägen, und zwar die Ammonifikatoren, Nitrifikatoren, Stickstoffassimilatoren (Stickstoffbinder), Schwefelbakterien und Mikroorganismen, die Kalziumphosphate, Kalziumkarbonate und Alumosilikate zersetzen, kommen wir zu dem Schluß, daß die Produkte ihres Metabolismus (z. B. organische und anorganische Säuren, CO₂ und eine ganze Reihe anderer organischer Verbindungen wie z. B. 2-Ketoglukonsäure) nicht nur nicht gleichgültig für das Kalkgestein sind, sondern auch eine wesentliche und relevante Aufgabe erfüllen.

Obige Auffassung wird außerdem durch die im Wege experimenteller Untersuchungen erzielten Ergebnisse befestigt. Während der in vitro durchgeführten Serie von Versuchen über die Korrosionsfähigkeit der Mikroflora gegenüber dem Kalkuntergrund, wurde nach 3monatigem Zeitraum ein deutlich destruktiver Einfluß der Mikroorganismen auf den Steinschliff in Gestalt von 1 bis 3 mm Eintiefungen verschiedenen Flächenausmaßes festgestellt. Die besten Ergebnisse betr. der Zersetzungstätigkeit wurden bei den aus autotrophen und heterotrophen Gruppen zusammengesetzten Bakterienkulturen erzielt.

Analog wies der Gesteinsuntergrund in den Untersuchungsgebieten — in natürlichen Gegenden — deutliche und stellenweise intensive makroskopische Veränderungen der Oberflächenebene des Karstreliefs auf. Diese Veränderungen umfaßten die ganze verkarstete Oberfläche, nichtsdestoweniger aber waren sie bei den Konkavformen intensiver. Das wird augenfällig, wenn man den ganzen Komplex der Bedingungen beachtet, infolgedessen an diesen Stellen nicht nur die Möglichkeit einer stärkeren Zersetzung der Kalkoberfläche besteht, sondern auch längere Lagerung der Umwandlungsprodukte erfolgt.

In den meisten Fällen bestand außerdem in denselben Gebieten eine deutliche Koexistenz von zwei intensiv auftretenden Elementen: des Karstreliefs, besonders seiner Zusammensetzung aus Mikroformen und der Welt der Mikroorganismen, die auf dem verkarsteten Untergrund ihr Dasein führten.

Im Lichte der oben angeführten Tatsachen scheint der Standpunkt jener Forscher (CORBEL) unhaltbar, die der Mitwirkung der Mikroorganismen bei den Verkarstungsprozessen keine oder keine größere Bedeutung beimessen. Der mikrobiologische Faktor wird, als biochemisches Element, in der Regel außer acht gelassen, sogar in jenen Fällen, wo sich Karsterscheinungen in

humid-warmen Klimagebieten entwickeln, also in Zonen von optimalen Lebens- und Entwicklungsbedingungen für Mikroorganismen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die große Aktivität in der biochemischen Umwandlung von Mikroorganismen in diesen günstigen Klimaten eine hervorragende Rolle in der Umwandlung des Kalkuntergrundes, in der Genese und der Dynamik der Karstentwicklung, insbesondere aber der Karstmikroformen dieser Gebiete, spielt.

Aus oben angeführten Untersuchungen geht hervor, daß das Problem der Bedeutung der Mikroorganismen für die Verkarstungsprozesse des Kalkgesteins verschiedenartige Fragen umfaßt. In ihren Bereich fallen nämlich nicht nur Probleme der Kalksteinkorrosion, sondern auch der Akkumulation ihrer Zersetzungsprodukte. Es scheint erforderlich, daß weitere Arbeiten vor allem die genaue Bestimmung des Einflusses der Mikroorganismen auf die Art, die Größe und die Geschwindigkeit des Verkarstungsprozesses im Auge behalten sollten, und zwar in möglichst umfassender Weise.

IV. Zusammenfassung

Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen können folgende allgemeine Schlüsse gezogen werden:

1. Es wurde das Vorkommen folgender Gruppen von Mikroorganismen in Karstgebieten Polens, Jugoslawiens, der Schweiz und der Tschechoslowakei festgestellt: a) chemosynthetische und photosynthetische Bakterien (autotrophe und heterotrophe); Streptomyceten (Actinomyceten); b) Pilze (Microfungi) — von verschiedener biochemischer Fähigkeit, z. B. Auflösung von Kalziumkarbonaten und Kalziumphosphaten, Zersetzung bzw. Auflösung von Alumosilikaten; Säurebildung: von organischen Säuren, wie z. B. 2-Ketoglukonsäure; Säurebildung: von anorganischen Säuren, wie z. B. Schwefelsäure; Bildung von CO_2 u. a.

2. Von den untersuchten physiologischen Gruppen waren auf dem Karstuntergrund am zahlreichsten folgende Gruppen von Mikroorganismen vertreten: a) Kalziumphosphate auflösende bzw. zersetzende; b) Kalziumkarbonate auflösende bzw. zersetzende; c) Alumosilikate auflösende bzw. zersetzende; d) Ammonifikatoren; e) nitrifizierende Bakterien; f) Schwefel und Schwefelpurpurbakterien (photolithotrophe und photoorganotrophe); g) Stickstoff fixierende Bakterien u. a. Diese Mikroorganismen traten mit verschiedener Häufigkeit in allen untersuchten, den besprochenen Karstgebieten entnommenen Gesteinsproben (Tab. 1) auf. Aus diesen Gebieten isolierten und bestimmten wir 24 Bakterienarten (davon neu 7 Arten der Gattung *Arthrobacter*, die molekularen Stickstoff

assimilieren; diese Organismen sind sowohl zur Zersetzung von Silikatmineralien als auch zur Fixierung molekularen Stickstoffs befähigt), des weiteren 12 Streptomycarten und 40 Pilzarten, die Kalziumphosphate und Kalziumkarbonate zersetzen bzw. auflösen können. Inmitten der isolierten zur Chemosynthese befähigten Bakterien waren am zahlreichsten 2-Ketoglukonsäure bildende Mikroorganismen und ähnlich wirkende vertreten.

3. Wenn man die metabolische und biochemische Tätigkeit der isolierten Mikroorganismen in Betracht zieht, muß angenommen werden, daß die Produkte ihres Metabolismus für den Anteil des mikrobiologischen Faktors im Chemosismus der Karsterscheinungen sprechen. Obige These wurde experimentell (in vitro) bei Anwendung verschiedener Mineralien und verschiedener Gruppen von Mikroorganismen bestätigt.

4. Es wurde das Auftreten der Mikroflora nicht nur auf der Oberfläche von Karstfelsen, sondern auch im Innern (10—30 cm tief) der verkarsteten Felsen festgestellt.

5. Die Gebiete, in welchen die lithomikrobiologischen Untersuchungen durchgeführt wurden, sind durch ihr typisches Karstrelief und ihre besonders gut entwickelten Karren- und Schratzenformen charakteristisch. Dieses Mikrorelief wies in den meisten Fällen Kennzeichen erheblicher Vitalität auf.

6. Der Kalkuntergrund in den Untersuchungsgebieten wies deutliche, in einer ganzen Reihe von Fällen intensiv makroskopische Veränderungen der Felsenoberfläche auf. Die größten Veränderungen ließen sich in den Konkavformen des Karstreliefs feststellen.

Eben auf diesen verkarsteten Oberflächen trat eine reiche Welt von Mikroorganismen auf, repräsentiert von verschiedenen physiologischen Gruppen von Bakterien, Pilzen und Streptomyceten, deren biochemische Tätigkeit vielseitig war und bedeutende Aktivität aufwies.

7. Die bisherigen Untersuchungen ergeben, daß der mikrobiologische Faktor — als biochemisches Element — immer bei der Erwägung der Genese und der Karstentwicklung in verschiedenen Klimazonen berücksichtigt werden sollte.

8. Es muß mit Nachdruck betont werden, daß das Problem der Rolle der Mikroorganismen in den Verkarstungsprozessen der Kalkgesteine umfangreich und kompliziert ist. Es ist übrigens nur ein Bestandteil der umfassenden Problematik des Verhältnisses der Mikroorganismen zu einem solchen Elemententypus der unbelebten Natur, wie es der Gesteinsuntergrund ist, der immerwährend infolge der vielartigen, an der Oberfläche und im Innern verlaufenden Prozesse modelliert wird. Volle Lösung dieses neuen und interessanten Pro-

blems, daß in den Bereich der Karstproblematik fällt, erheischt weitere eingehende Studien und die enge Zusammenarbeit weiter Kreise von Fachleuten verschiedener Zweige der Naturwissenschaften.

Literatur

- ALEKSANDROW, V. G. und ŽAK, G. A.: Bakterii razruszajuszczyje aljumosilikaty. Mikrobiologija, Bd. 19. H. 2, 1950.
- BACHMANN, E.: Ein kalklösender Pilz. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft, Bd. 34, 1916.
- BACHRA, B. N. und TRAUTZ, O. R.: Carbonic anhydrase and the precipitation of apatite. Science, 137, 337—338, 1962.
- BASSALIK, K.: Über Silikatzersetzung durch Bodenbakterien. Zeitschrift f. Gärungsphysiol., Bd. 2, H. 1, 1912.
- BAVENDAMM, W.: Die mikrobiologische Kalkfällung in der tropischen See. Archiv f. Mikrob., Bd. 3, H. 2, 1932.
- BLÖCHLIGER, G.: Mikrobiologische Untersuchungen an verwitternden Schrattenkalkfelsen. „Promotionsarbeit“ No 663, ETH, Zürich, 1931.
- BÖGLI, A.: Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluß der Gesteinsbeschaffenheit auf die Entwicklung des Karstes. Report of the Commission on Karst Phenomena, IGU, New York, 1956.
- : Kalklösung und Karrenbildung. Internationale Beiträge zur Karstmorphologie, Supplementband 2. Zeitschrift für Geomorphologie, 1960.
- BREED, R. S., MURRAY, E. G. D. and SMITH, N. R.: Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Seventh Edition, London, Baillière, Tindall & Cox., Ltd., 1957.
- BRUSOFF, A.: Über ein kalkspeicherndes Bakterium und die von ihm gebildeten „Kristalle“. Archiv f. Mikrob., Bd. 4. H. 2, 1933.
- CLAUS, D. H. WITTMANN und RIPPEL-BALDES, A.: Untersuchungen über die Zusammensetzung von Bakterien-schleimen und deren Lösungsvermögen gegenüber schwerlöslichen anorganischen Verbindungen. Archiv f. Mikrob., Bd. 29. H. 2, 169—178, 1958.
- CORBEL, J.: Les Karsts du Nord-Ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison. Publ. Hors Série de la Revue de Géographie, Lyon, 1957.
- DREWES, K.: Über Beteiligung von Mikroorganismen an der Aufschließung unlöslicher Phosphate. Zentralbl. f. Bakt., II Abt., Bd. 76, 1928/1929.
- DUFF, R. B. and WEBLEY, D. M.: 2-ketogluconic acid as a natural chelator produced by soil bacteria. Chem. & Industry, 1376—1378, 1959.
- DÜGGELI, M.: Bakteriologische Studien im Karrengebiet der Frutt. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. Neunundsiebzigster Jahrgang, H. I, II u. III, Zürich, 1934.
- ENO, CH. F. und REUSZER, H. W.: Potassium availability from biotite, muscovite, greensand and microcline as determined by growth of *Aspergillus niger*. Soil Sci., 80, 3, 1955.
- GALEOTTI, G.: La flora batterica dei ghiacciai del Monte Rosa. Rend. Accad. Lincei, 19, 5, 1910.
- GILMAN, J. C.: A Manual of Soil Fungi. Constable and Company Ltd., London, 1959.
- GOŁĘBIOWSKA, J.: A method of investigation of the microbial population playing a part in the transformation of phosphorus compounds in the soil. Acta Microb. Polonica, V, 1—2, 1956.
- : Zastosowanie metody Lochheada do badania rozprzeszczenia w glebie drobnoustrojów czynnych przy przemianach fosforu. Acta Microb. Pol., VI, 1, 1957.
- i MYŚKOW, W.: Drobnoustroje udośćpniające fosfor roślinom. Wybrane zagadnienia z mikrobiologii gleby. PWRL., Warszawa, 1957.
- HEINEN, W.: Silicium-Stoffwechsel bei Mikroorganismen. I. Mitteilung. Aufnahme von Silicium durch Bakterien. Archiv f. Mikrobiologie, 37, 3, 199—210, 1960.
- : Silicium-Stoffwechsel bei Mikroorganismen. II. Mitteilung. Beziehungen zwischen dem Silikat- und Phosphat-Stoffwechsel bei Bakterien. Archiv f. Mikrob., 41, 3, 229—246, 1962.
- HESS, R., BACH, R. und DEUEL, H.: Modelle für Reaktionen zwischen organischen und mineralischen Substanzen im Boden. Experientia, 16, 38, 1960.
- HOPKINS, C.: Soil bacteria and phosphates. III Agr. Exp. Stat. Bull., 190, 1916.
- ISACZENKO, B. L.: Izbrannyje Trudy. Izdat. Akademii Nauk SSSR. II., Moskwa-Leningrad, 1951.
- JENNINGS, J. N. and BIK, M. J.: Karst morphology in Australian New Guinea. Nature, 194, 4833, 1036, 1962.
- KALANTARIAN, P. und PETROSSIAN, A.: Über ein neues kalkfällendes Bakterium aus dem Sewan-See Bacterium sewanse. Centralbl. f. Bakt., II Abt. 85, 1931—1932.
- KELLEY, W. P.: Effect of nitrifying bacteria on the solubility of tricalcium phosphate. Journ. Agr. Res., 12, 1918.
- KLIMASZEWSKI, M.: Nowe poglądy na rozwój rzeźby krasowej. Przegląd Geograficzny, 30, 3, 1958.
- KÖNIG, E.: Untersuchungen über den Chemotropismus einiger Pilze gegenüber schwerlöslichen Phosphaten. Archiv. f. Mikrob 40, 395—402, 1961.
- KUNSKY, J.: Zjawiska krasowe, Warszawa, 1956.
- KUNZE, G.: Über Säureausscheidung bei Wurzeln und Pilzhypen und ihre Bedeutung. Jahrb. wiss. Bot., 42, 383—391, 1906.
- LANNING, M. C. and COHEN, SS.: The detection and estimation of 2-ketohexonic acids. The Journ. of Biol. Chem., 189, 109—114, 1951.
- LASSERRE, G.: Notes sur le Karst de la Guadeloupe. Erdkunde, III., Bonn, 1954.
- LEHMANN, H.: Karstenentwicklung in den Tropen. Die Umschau in Wiss. und Technik, Frankfurt, 1953.
- , KRÖMMELBEIN, K. und LÖTSCHERT, W.: Karstmorphologie, geologische und botanische Studien in der Sierra de Los Organos auf Cuba. Erdkunde, X, 3, 1956.
- LOUW, H. A. and WEBLEY, D. M.: A plate method for estimating the numbers of phosphate-dissolving and acid-producing bacteria in soil. Nature, 182, 1317—1318, 1958.
- MALICKI, A.: Kilka przyczynków do poznania warunków i procesów tworzenia się wterebów w Krasie Dynarskim. Czasopismo Geograficzne, XX, 1949.
- Manual of Microbiological Methods by Society of American Bacteriologists. Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York-Toronto-London, 1957.
- MOLISCH, K.: Über Kalkbakterien und andere kalkfällende Pilze. Centralbl. f. Bakt., II Abt., 65, 1925.
- MÜLLER, G. und FÖRSTER, J.: Einige methodische Versuche zum Problem der Nährstofffreisetzung aus Mineralien durch Bodenpilze. Zentralbl. f. Bakt. etc., II Abt. 114, 1, 1961.
- MÜNTZ, A.: Sur la dissemination du ferment nitreque et sur son rôle dans la déségrégation des « roches ». Annales de Chimie et de Physique 6e Série, 11, Paris, 1887.
- : Sur la décomposition des roches et la formation de la terre arable. Compt. Rend. des Seances de l'Accad. de Sci., Paris, 1890.
- MUROMZEW, G. S.: Die lösende Wirkung einiger Wurzeln- und Bodenmikroorganismen auf die wasserunlöslichen Calciumphosphate. Agrobiologija / russisch, 5, 1958.
- NADSON, G.: Beitrag zur Kenntnis der bakteriogenen Kalkalagerungen, Archiv Hydrob., 19, 1928.
- NIKITIN, D. J.: Die Rolle der Mikroorganismen bei der Auflösung schwerlöslicher Ca-Verbindungen im Boden. Nachr. Akad. Wiss. UdSSR., Biol. Serie, 24, 2276, 1959.
- OBERLIES, F. und POHLMANN, G.: Veränderungen von Feldspatoberflächen durch Mikroorganismen. Die Naturwissenschaften, 45, 21, 513, 1958.

- OMELIANSKI, W. L.: Du rôle des microorganismes dans la déségrégation des essences rocheuses. Mém. bot. off. à l'occ. d. s. jubilé. Leningrad, 1927.
- ROGLIČ, J.: Korrosive Ebenen im Dinarischen Karst. Erdkunde, VIII, Bonn, 1954.
- SKERMAN, V. B. D.: A guide to the identification of the genera of bacteria with methods and digests of generic characteristics. The Williams & Wilkins Company, Baltimore 2, Maryland, 1959.
- SMYK, B. and DRZAL, M.: Research on the distribution and role of the microflora occurring on limestone on karst territories of Poland, Czechoslovakia and Switzerland. Sammelband III. Konferenz über die Bodenmikrobiologie 5.—7. XI. 1962. Tschechoslowak. Akad. der Wissenschaften, Prag, 1962.
- i DRZAL, M.: Badania nad występowaniem i rolą mikroflory na krasowych terenach wapiennych Polski południowej. Cz. I. Acta Agraria et Silvestria, 2, 71—100, 1962.
- et ETTLINGER, L.: Recherches sur les especes d'Arthrobaeter fixatrices d'azote isoless des roches Karstiques alpines. Annal. Institut Pasteur (im Druck).
- SPERBER, J. J.: Solution of mineral phosphates by soil bacteria. Nature, 180, 994—995, 1958.
- TARDIEUX-ROCHE, A.: Essai d'appréciation quantitative du pouvoir dissolvant des bacteries sur les phosphates naturels. Annales de l'Institut Pasteur, 103, 2, 314—317, 1962.
- TESIĆ, Z. P. et TODORVIĆ, M. S.: Sur la question de l'espece des "bacteries silicatées". Atti del VI Congresso internazionale di microbiologie. Vol. VI no. 1—99, 356—361. Roma 6—12 Settembre, 1953.
- i TODORVIĆ, M. S.: Prilog poznavanja specifičnih osobina silikatnih bakterija. Zemljište i biljka, 8, 1—3, 221—224, 1958.
- VINTIKOVÁ, H.: Bakterie, rozkládající tezkorozpustne aluminosilikaty. Vědecké Práce Vyzkumneho Ústavu Rostlinne Vyroby ČSAV v Praze-Ruzyni, 2, 1956.
- WEBLEY, D. M., DUFF, R. B. and MITCHELL, A.: A plate method for studying the breakdown of synthetic and natural silicates by soil bacteria. Nature, 188, 766—767, 1960.
- WISSMANN, H.: Der Karst der humiden und sommerheißen Gebiete Ostasiens. Das Karstphänomen in verschiedenen Klimazonen, 1953.

"KARST VALLEYS" IN THE DINARIC KARST

With 2 figures

J. ROGLIČ

This problem is as important for the past of exploration as for the successful explanation of the Dinaric Karst. The term "karst valley" (Karsttal), like most of the other terms for karst, was coined during the exploration of the Dinaric Karst and is still in use; attempts are being made to justify it and even examples for it are being mentioned. We think that this is misleading because something is sought that is wished for, instead of explaining what really does exist. A look into the past of karst exploration will be very instructive.

In his first and classical work, J. CVIJIĆ introduced the term "karst valley" as the heading of a chapter and as a common designation for rather undefined in disparate features, and this term has persistently been used since. At the beginning of the chapter thus headed, CVIJIĆ himself, however, says: "Owing to the permeability of limestone, running water disappears in karst country, normal valleys are rare or even completely missing, and their place is taken by blind valleys and different other "basin forms" (Wannenformen)¹).

CVIJIĆ classifies his karst valleys into a) *sack valleys* (Sacktäler), "such a valley has a cirque-like, sack-shaped valley head", a feature which is, in fact, common to almost all sources in limestone; b) *blind valleys* (blinde Täler), which are "morphologically also characterized by a raised valley end", also a common occurrence with rivers dis-

appearing underground (Schlundflüsse); c) *semi-blind valleys* (halbblinde Täler), "where the raised valley end is so low that accumulated river water sometimes overflows"; and d) *dry valleys* (trockene Täler) "without or with only temporary water courses".

He further divides blind and dry valleys in karst country in primary and secondary ones. Primary is a valley where, "a river from impermeable rock enters strongly porous and jointed limestone, its water disappears in the limestone fissures and, in time, big sinkholes are formed there". Secondary is a valley if "through the formation of sinkholes in the bed of a normal karst river, its valley becomes blind"²).

It is surprising that CVIJIĆ affirms that "water does not flow over permeable karst" yet speaks of different types of valleys, but stresses their peculiarities and limited appearance. This indecision and compromising attitude are important and reflect insufficient acquaintance with the conditions of the karst as well as the special circumstances in which his first work was written.

It must be kept in mind that, before writing his "Karstphänomen", CVIJIĆ had only known the karst countries of eastern Serbia and around Trieste³). Moreover, the young explorer's general ideas were under the influence of his great teacher,

²) Op. cit., p. 290.

¹) J. CVIJIĆ: Das Karstphänomen, Versuch einer morphologischen Monographie, in: Geographische Abhandlungen, Vol. 5, No. 3, p. 283, Vienna, 1893.

³) A Map of JOVAN CVIJIĆ's Excursions in the Balkan Peninsula and in the Yugoslav Countries, an annex to No. 11 of: Glasnik Geografskog društva, Belgrade, 1925.