

January 1963

**Dritter Internationaler Kongress für Speläologie. Band II, Sektion 1:  
Physische Speläologie (Karst- und Höhlenkunde) Third  
International Congress of Speleology. Volume II, Section 1:  
Physical Speleology (Karst Phenomena and Speleology)**

International Congress of Speleology. Organizing Committee

Hubert Trimmel

Follow this and additional works at: [https://digitalcommons.usf.edu/kip\\_talks](https://digitalcommons.usf.edu/kip_talks)

---

**Recommended Citation**

International Congress of Speleology. Organizing Committee and Trimmel, Hubert, "Dritter Internationaler Kongress für Speläologie. Band II, Sektion 1: Physische Speläologie (Karst- und Höhlenkunde) Third International Congress of Speleology. Volume II, Section 1: Physical Speleology (Karst Phenomena and Speleology)" (1963). *KIP Talks and Conferences*. 48.  
[https://digitalcommons.usf.edu/kip\\_talks/48](https://digitalcommons.usf.edu/kip_talks/48)

This Conference Proceeding is brought to you for free and open access by the Karst Information Portal at Digital Commons @ University of South Florida. It has been accepted for inclusion in KIP Talks and Conferences by an authorized administrator of Digital Commons @ University of South Florida. For more information, please contact [digitalcommons@usf.edu](mailto:digitalcommons@usf.edu).



**Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie**

**Troisième Congrès International de Spéléologie**

**Third International Congress of Speleology**

**Band**

**II**

**Sektion 1**

**Physische Speläologie (Karst- und Höhlenkunde)**

**Spéléologie physique (karstologie et spéléologie)**

**Physical Speleology  
(Karst Phenomena and Speleology)**

**WIEN**

**1963**



# **Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie**

## **Troisième Congrès International de Spéléologie**

## **Third International Congress of Speleology**

### **Band**

### **II**

### **Sektion 1**

#### **Physische Speläologie (Karst- und Höhlenkunde)**

#### **Spéléologie physique (karstologie et spéléologie)**

#### **Physical Speleology (Karst Phenomena and Speleology)**

**WIEN  
1963**

Gesamtredaktion:

Hubert TRIMMEL

Herausgeber, Eigentümer und Verleger:  
Organisationskomitee des Dritten Internationalen Kongresses für Speläologie  
Verband österreichischer Höhlenforscher  
Obere Donastrasse 99/7/1/3 - WIEN 2

Satz: Verband österreichischer Höhlenforscher  
Offsetdruck: Akademische Druck- und Verlagsanstalt  
Auerspergasse 12, GRAZ.

Hinweis . . . . .	7
Allgemeine Arbeiten. Karstmorphologie, Höhlenentstehung und Höhleninhalt. - Généralités. Morphologie karstique, spéléogénèse, sédiments et cristallisations . . . . .	9
ALKER Adolf, Untersuchungen über Wachstum von Kalkspat- und Aragonitkristallen in Sinterbildungen . . . . .	11
ASHTON Ken, The analysis of speleohydrological configuration . . . . .	15
BÖGLI Alfred W.H., Der Höhlenlehm . . . . .	21
BÖGLI Alfred W.H., Höhlenkarren . . . . .	25
BÖGLI Alfred W.H., Korrosive Bildungsbedingungen von Höhlenräumen . . . . .	29
CHOPPY Jacques, Nappe et conduits karstiques . . . . .	33
CORBEL Jean, Vitesse d'érosion et formation des grottes . . . . .	37
CURL Rane L., On the definition of a Cave . . . . .	43
EK Camille, Les phases successives de l'évolution de certains conduits vadoses . . . . .	49
ERASO Adolfo, Sobre las relaciones morfo-químicas en la litogenesis . . . . .	53
FRANKE Herbert W., Formprinzipien des Tropfsteins . . . . .	63
GRESSEL Walter, Zur Speläometeorologie . . . . .	73
GVOZDEZKIJ N.A., К вопросу о происхождении карстовых пещер в складчатых горах . . . . .	75
KIRCHMAYER Martin, Untersuchungen an rezenten Höhlenperlen . . . . .	79
MAXIMOVICH G.A., основные стадии развития многоэтажных горизонтальных карстовых пещер в известняках и гипсах . . . . .	85
MAXIMOVICH G.A., подземные карстовые озера . . . . .	91
OZORAY György, Einige genetische Probleme der Höhlen in Karstgesteinen an Hand von Beispielen aus Ungarn . . . . .	95
PIRKER Rudolf, Temperaturgradient oder Druckgradient - Hauptmotor dynamischer Wetterführung ? . . . . .	99
RENAULT Philippe, Caractères des vagues d'érosion selon la morphologie des conduits karstiques . . . . .	105
RIEDL Helmut, Versuch einer speläogenetischen Korrelationsmethode . . . . .	115
SAAR Rudolf, Die Zirkulation in dynamischen Wetterhöhlen und die Großwetterlage . . . . .	121
SLAVYANOV W.N., конденсация водяных паров в карстовых пещерах и возможность ее искусственного изменения . . . . .	127
SOKOLOV D.S., субтерральные отложения в карстовых полостях . . . . .	133



Regionale Arbeiten. Travaux régionaux. . . . .	137
Belgien - Belgique.	
D'URSEL Pierre, VANDERSLEYEN Paul, La grotte de Hotton (Belgique). . . . .	139
Bundesrepublik Deutschland - République Fédérale Allemagne	
FRANK Helmut, Verschiedene Höhlentypen der Schwäbischen Alb .	145
HOLZ Hans Werner, Vergleichende Betrachtungen der Gestalt und der Genese der Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges . . .	149
Frankreich - France	
CAVAILLÉ Albert, L'age des grottes du Quercy . . . . .	153
DUBOIS Paul, Les circulations souterraines dans les karsts du Bas-Languedoc . . . . .	167
DUBOIS Paul, Mode et age des cavités souterraines du massif du Mont Perdu (Pyrénées Centrales). . . . .	175
FRAISSE Maurice, Cavités du karst varois . . . . .	181
Griechenland - Grèce	
PETROCHILLOS Jean, Recherches hydrospéléologiques dans la ré= gion de Dyros en Laconie (Grèce). . . . .	183
Irland - Irlande	
TRATMAN E.K., The caves of Northwest Clare, Eire . . . . .	191
Italien - Italie	
ANELLI Franco, Fenomeni paracarsici nei calcari grossolani ter= ziari e quaternari delle Murge e del Salentino in Puglia . . .	199
Jugoslawien - Yougoslavie	
BAUČIĆ Ivo, The principal phases in the development of cavities in the Dinaric Karst . . . . .	207
BOHINEC Walter, Die Križna Jama (Kreuzberghöhle) bei Lož (Slo= wenien). . . . .	211
GAMS Ivan, Der Einfluß der Schichtenlage auf die Richtung der Höh= lengänge und auf die Querschnitte in den längsten Höhlen Slowe= niens. . . . .	215
Libanon - Liban	
KARKABI Sami, Les grottes de Jiita . . . . .	221
Marokko - Maroc	
CAMUS Albert, Les calcites du Goran et du Douar Debbagh (Côte atlantique du Maroc). . . . .	225
Österreich - Autriche	
AUBRECHT Kurt, Excentriques in Österreich und die Excentriques= höhle bei Erlach (Niederösterreich) . . . . .	229

ILMING Heinz, Die letzten Forschungsergebnisse aus der Dachsteinmammuthöhle . . . . .	233
TRIMMEL Hubert, Die Neubearbeitung der Dachsteinmammuthöhle und einige Bemerkungen über schichtengebundene Höhlenräume .	235
Rumänien - Roumanie	
COMAN Daniel, Explorations spéologiques en Transylvanie (République Populaire Roumaine) . . . . .	241
ORGHIDAN T., Merkwürdige strukturelle Karstformen in der Dobrudscha . . . . .	247
Schweden - Suède	
TELL Leander, Die Höhlentypen Schwedens . . . . .	251
Schweiz - Suisse	
AUDÉTAT Maurice, La région karstique de Mayen-Famelon. Leysin. Préalpes suisses . . . . .	255
BERNASCONI R., GRAF D., Das Pfaffenloch. Ein Beitrag zur Sedimentologie und Geologie einer Sandsteinhöhle . . . . .	263
Tschechoslowakei - Tchécoslovaquie	
SKRIVÁNEK František, Das Vorkommen von Aragonit in den tschechoslowakischen Höhlen . . . . .	271
Union der soz. Sowjetrepubliken - Union soviétique	
GVOZDEZKIJ N.A., ЛЕДЯНЫЕ ПЕЩЕРЫ СССР, . . . . .	275
Vereinigte Staaten - Etats-Unis	
WHITE William B., Cavern and karst development in the Swago Creek Area, West Virginia, USA . . . . .	279
Kurzmitteilungen. Informations . . . . .	287
MAUCCI Walter, In memoriam Antonio Federico Lindner . . . . .	289
MUNCK Sole, Über Höhlen in Grönland . . . . .	291
14 Bildtafeln im Textteil	
3 Faltpläne im Textteil	
1 Höhlenplan	





## HINWEIS.

Die Zusammenfassungen der in diesem Bande veröffentlichten Vorträge sind bereits im Band A der Akten des Kongresses veröffentlicht. Auf die nochmalige Wiedergabe in diesem Bande wurde daher verzichtet. Von den folgenden angemeldeten Vorträgen, deren Zusammenfassung bereits im Band A der Akten enthalten ist, wurde der vollständige Text dem Generalsekretariat des Kongresses nicht übermittelt, so daß auf die Veröffentlichung in diesem Bande der Akten verzichtet werden mußte:

Les résumés des communications ont été déjà publiés dans le volume A des Actes du Congrès; ils n'ont pas été répétés dans ce tome-ci. Des communications suivantes dont le résumé a été publié, le texte complet n'a pas été remis par l'auteur et ne sera pas publié:

Franco ANELLI, Profils hydromorphes et profils tectoniques dans la grotte de Ca=stellana (Murges de Bari, Italie).

Erik ARNBERGER, Zur Tektonik der Dachstein-Mammuthöhle.

Fridtjof BAUER, Die Entwicklung von Karstformen in Abhängigkeit von den Umwelts=faktoren.

Fridtjof BAUER, Der nacheiszeitliche Lösungsabtrag in den österreichischen Kalk=hochalpen.

I.A.BRASHNINA, Caves in the Upper Reaches of the Kudepsta River (The Caucasus).

V.N.DUBLJANSKY, Studying Karst in the Mountain Crimea.

Jerzy GLAZEK und Zbigniew WOJCIK, Covered Karst in the Tatra Mountains.

Jerzy GLAZEK und Zbigniew WOJCIK, The Karst in the Sucha Woda Valley in the Ta=tras.

Ryszard GRADZINSKI und Zbigniew WOJCIK, Karst under the Remnant Minute Glacier in the Tatra.

Ryszard GRADZINSKI und Zbigniew WOJCIK, Hydrological Conditions in the Karst Areas of the Western Tatra.

Jan KRASON, The Deep Caves in the NW Sudeten Mountains.

Jan KRASON, The Caves in Maestrichtian Limestones of the Arabic Desert.

Jan KRASON und Zbigniew WOJCIK, The Caves in Granites of the Gebel Harhagit af Arabic Desert.

V.S.LUKIN, Temperature Anomalies in the Pre-ural Caves and Experience of Their Quantitative Basing.

A.A.OGILVIE, The Study of Karst Phenomena by Geophysical Methods.

N.V.RODIONOV, The Rate of Karst Processes in Carbonate Rocks.

I.A.SAVARENSKY, Some Experience of Engineering Geological Investigations of Gyp=sun Karst in the U.S.S.R.

M.SERBAN und I.VIEHMANN, Karst- und Höhlenforschungen in den Westkarpaten und im Rodnaer Gebirge (Rumänien) in den Jahren 1947 bis 1960.

M.SERBAN, I.VIEHMANN, S.BALS, S.BORDEA, Die Pestera Neagra (Schwarze Höhle) im Karstgebiet von Padis (Westkarpaten, Rumänien) und ihre Bedeutung.

Marjorie M.SWEETING, Observations on the Rates of Solution in Some British Caves.

H.TINTANT und B.de LORIOU, Morphologie et age du karst de Bourgogne.

A.V.TURYSHEV, The Ufa Plateau Caves and Some Problems of Their Formation.

Pierre d'URSEL, Les extraordinaires cristaux de gypse de la Cigalère.

I.VIEHMANN und M.SERBAN, Über die Entstehung der flachen und horizontalen Höh=lendecken.

Zbigniew WOJCIK, Cave Development in the Tatra Mountains during the Pleistocene epoch.

- Zbigniew WOJCIK, Fossil and Recent Karst in the Holy Cross Mountains.  
Zbigniew WOJCIK, Cementation Cave Concretions.  
Zbigniew WOJCIK, Granulometry of the Tatra cave deposits.  
Zbigniew WOJCIK, The Shape of Quartzgrains in the Cave Deposits.  
Zbigniew WOJCIK, Caves in granites in the Tatra Mountains.  
Zbigniew WOJCIK, Karst Phenomena and Caves in the Karkonosze Granites.

In den vorliegenden Band II der Akten des Kongresses haben aber die Texte folgender Vorträge Aufnahme gefunden, von denen eine Zusammenfassung bei Drucklegung von Band A noch nicht eingelangt war, die aber im Verlaufe des Kongresses gehalten worden sind:

- Jacques CHOPPY, Nappe et conduits karstiques.  
Paul DUBOIS, Les circulations souterraines dans les karsts du Bas-Languedoc.  
Paul DUBOIS, Mode et age des cavités souterraines du massif du Mont Perdu (Pyrénées Centrales).  
Maurice FRAISSE, Cavités du karst varois.  
Sami KARKABI, Les grottes de Jiita.  
T. ORGHIDAN, Merkwürdige strukturelle Karstformen in der Dobrudscha.  
Philippe RENAULT, Caractères des vagues d'érosion selon la morphologie des conduits karstiques.

Während der Sitzungen der Sektion I wurden überdies "KURZE MITTEILUNGEN" von Walter MAUCCI und Sole MUNCK vorgelegt, deren Text im Anhang wiedergegeben ist.

## ALLGEMEINE ARBEITEN

### KARSTMORPHOLOGIE, HÖHLENENTSTEHUNG UND HÖHLENINHALT.

#### UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE KARST- UND KALKSPAT- UND ARAGONITKRISTALLE UND IHRER ENTSTEHUNG.

##### GENERALITES

### MORPHOLOGIE KARSTIQUE, SPELEOGENESE, SEDIMENTS ET CRISTALLISATIONS

Die Formen von Karst- und Kalkspat in den Höhlen unserer Berge sind mannigfaltig. Vielfältig sind daher auch die Probleme, die aus mit diesen Hohlformen und den in ihnen vorkommenden Erscheinungen entgegenstehen. Es soll an dieser Stelle versucht werden, einige davon darzulegen und zu ihrer Lösung mit den Mitteln beizutragen, die dem Mineralogen in die Hand gegeben sind. Als wesentlich erscheinen mir, Klarheit über die Orientierung der einzelnen Kristalle, die Tropfstein-, Stalaktiten und Eiszüchten aufbauen, zu gewinnen.

In vielen Diskussionen wurde die Meinung geäußert, daß die Karst-Höhlen Stalaktitenröhren, die das Wachstum eines Kalkkristalls enthalten, der dann Kalkspatkristall bestehen. Dieser Ansicht liegt auf der Beobachtungsbasis, daß beim Zerbrechen eines solchen Rohrens eine einzige glatte Bruchfläche entsteht, die einer Spaltfläche des Kalkspates entspricht. Diese Annahme ist jedenfalls richtig zu betrachten. Daß sie wohl stimmt, wenn nur ein Kristall vorliegt. Aber auch, wenn ein gleich orientiertes Kristallaggregat vorliegt, ist makroskopisch nur eine glatte Spaltfläche zu sehen.

Die außerordentliche Zartheit der ersten Kalkspatentstehungen setzt die größten Schwierigkeiten einer eingehenden Untersuchung entgegen. Es sind vor allem die Schutzmaßnahmen der Präparationen.

Bei der Untersuchung an Tropfsteinen der Grifflinger Höhle in Kärnten kam der Zufall zu Hilfe. Ein Stalaktitenröhren, das sich im ersten Wachstumsstadium befand, wurde von einer Mineralistin zerwacht und es erfolgte die Präparation. Der davon erhaltene Bruchteil wurde mit dem Universalmikroskop vermessen. Es konnte erkannt werden, daß es sich um einen Einkristall handelt, der auf ersten Augen blickt ist. Ich möchte betonen, daß es sich dabei nur um den erste feine Kalkkristall handelt, der ausgebildet wird, bevor es zu einem Weiterwachstum kommt. Es wurde beobachtet, daß Kontraktionsrinnen auftreten, die radial zur Rohrenachse angeordnet sind. In der Folge setzen sich an der Innen- und Außenwand weitere Einkristalle an. Diese ersten Kristalle sind noch verhältnismäßig unregelmäßig. Eine ständige Regelung tritt ein ein, wenn das Stalaktitenröhren eine gewisse Dicke erreicht hat. Die Orientierung der ersten ausgebildeten Kristalle ist so, daß die glatte Achse paral-



Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology

SEKTION I

Adolf ALKER

UNTERSUCHUNGEN ÜBER WACHSTUM VON KALKSPAT - UND  
ARAGONITKRISTALLEN IN SINTERBILDUNGEN .

Die Formen von  $\text{CaCO}_3$  - Ablagerungen in den Hohlräumen unserer Berge sind mannigfach. Vielfältig sind naturgemäß die Probleme, die uns mit diesen Hohlformen und den in ihnen enthaltenen Ablagerungen entgegentreten. Es soll an dieser Stelle versucht werden, einige davon darzulegen und zu ihrer Lösung mit den Mitteln beizutragen, die dem Mineralogen in die Hand gegeben sind. Als wesentlich erschien mir, Klarheit über die Orientierung der einzelnen Kristalle, die Tropfsteine, Sinterleisten und Eisenblüten aufbauen, zu gewinnen.

In vielen Diskussionen wurde die Meinung geäußert, daß die zarten dünnen Sintertröhrchen, die das Wachstum eines Stalaktiten einleiten, aus einem Kalkspatkristall bestehen. Diese Ansicht fußt auf der Beobachtungstatsache, daß beim Zerschlagen eines solchen Tröhrchens eine einzige glatte Bruchfläche erhalten wird, die einer Spaltfläche des Kalkspates entspricht. Diese Annahme ist insoferne kritisch zu betrachten, Daß sie wohl stimmt, wenn nur ein Kristall vorliegt. Aber auch, wenn ein gleich orientiertes Kristallaggregat vorliegt, ist makroskopisch nur eine glatte Spaltfläche zu sehen.

Die außerordentliche Zartheit der ersten Kalkspatausscheidungen setzt die größten Schwierigkeiten einer eingehenden Untersuchung entgegen. Es sind vor allem die Schwierigkeiten der Präparation.

Bei der Untersuchung an Tropfsteinen der Griffener Höhle in Kärnten kam der Zufall zu Hilfe. Ein Sintertröhrchen, das sich im ersten Wachstumsstadium befand, wurde von einer Sinterleiste überwuchert und so entfiel die Präparation. Der davon angefertigte Dünnschliff wurde mit dem Universaldrehtisch vermessen. Es konnte erkannt werden, daß es sich um einen Einkristall handelt, der am ersten Aufbau beteiligt ist. Ich möchte betonen, daß es sich dabei nur um das erste feine Kalkhäutchen handelt, das ausgeschieden wird, bevor es zu einem Weiterwachstum kommt. Es wurde beobachtet, daß Kontraktionsrisse auftreten, die radial zur Tröhrchenachse angeordnet sind. In der Folge setzen sich an der Innen- und Außenwand weitere Einzelkristalle an. Diese ersten Kristalle sind noch verhältnismäßig unregelmäßig. Eine eindeutige Regelung tritt erst ein, wenn das Sintertröhrchen eine gewisse Dicke erreicht hat. Die Orientierung des zuerst ausgeschiedenen Kristalls ist so, daß die optische Achse parallel zur künftigen Tropfsteinachse liegt. -



Aus dem bisher Gesagten sei kurz zusammengefaßt, daß sowohl die erste Phase, also der Beginn des Wachstums mit einem Kristall beginnt, die Sinterröhrchen, denen wir in Hohlräumen begegnen, aber schon aus Kristallaggregaten bestehen. Die scheinbar einheitliche Bruchfläche, die an ihnen auftritt, ist auf die nahezu gleiche Orientierung der einzelnen Kalkspatkristalle zurückzuführen.

Es kann auch vorkommen, daß durch den Einfluß verschiedener Umwelteinflüsse die Wachstumsachse des Tropfsteins und damit gleichgehend die optischen Achsen der Kalkspatkristalle aus der bisherigen Wachstumsrichtung herauspendelt. Wiederholt sich dieser Vorgang öfter nach einiger Zeit, so kann es zu Tropfsteinformen kommen, die als "Excentriques" oder "Helictites" bezeichnet werden.

Bei der Betrachtung von zerschlagenen Tropfsteinen fällt es auf, daß Stalagmiten und Stalaktiten in der Anordnung der einzelnen Kalkspatkristalle Unterschiede aufweisen.

Zur Untersuchung mit dem U-Tisch dienen, um einen Einblick in die Ordnung bzw. Unordnung der Kristalle zu bekommen, Tropfsteine aus der Lurgrotte Peggau-Semriach.

Dünnschliffe, die senkrecht zur Tropfsteinachse angefertigt wurden, zeigten sehr schön die verschiedenen Wachstumsperioden. Es wechseln Schichten von großen Kristallen mit solchen von sehr kleinem Korn. Während die großen Kristalle vollkommen rein sind, erkennt man zwischen den kleinen und in diesen selbst Verunreinigungen von Eisenhydroxyd und Tonmineralien. Die großen Kristalle sind einer Wachstumsperiode zuzuordnen, in der eine geringe Keimbildung, also stetiges Wachstum, stattfand, während die kleinen Kristalle in einer Zeit starker Keimbildung entstanden sind. Zwillingsbildung oder Lammelierung war nicht zu beobachten.

Von dem untersuchten Stalaktit wurden etwa 100 Achsenpole und vom Stalagmit 150 Achsenpole eingemessen. Bei der Betrachtung des Stalaktitdiagrammes war zu erkennen, daß der Großteil der optischen Achsen parallel zur Tropfsteinachse liegt und nur 20% zeigen eine Abweichung von  $10^{\circ}$  bis  $20^{\circ}$ , worunter hauptsächlich Kristalle mit kleinen Kornabmessungen fallen.

Im Gegensatz dazu zeigt die Projektion der Achsenpole der Kalkspatkristalle des Stalagmites eine weitaus größere Streuung; hier weichen 60% der optischen Achsen von ihrer parallelen Lage zur Tropfsteinachse ab.

Das Herauspendeln der optischen Achsen ist wohl wie folgt zu erklären:

- 1) Bei einer starken Keimbildung kann keine strenge Einregelung mehr erfolgen.
- 2) Die Unterlage von Stalagmiten ist meist sehr uneben; daher tritt vorzüglich eine Regelung der Unterlage, aber nicht zur Tropfsteinachse ein.

Da "Excentriques", die aus Kalkspat bestehen, verhältnismäßig selten sind, so wurde zu solchen aus Aragonit gegriffen. Diese "Excentriques" aus Aragonit sind unter der Bezeichnung "Eisenblüte" bekannt. Vielfältig ist das Schrifttum über das vermutete Entstehen solcher Formen. Durch das Experiment konnte C. HUFF feststellen, daß die günstigsten Entstehungsbedingungen dann herrschen, wenn der Zufluß der Lösung geringer als die Verdunstung ist. Im entgegengesetzten Fall entstehen Tropfsteine.

Aus Dünnschliffen ist zu ersehen, daß die Stengel meist einen Kanal haben. Durch Kapillarwirkung wird Lösung hochgezogen und verdunstet anschließend. An dem Punkt, an dem die Lösung verdunstet, sprießen Kristalle aus dem Röhrchen. Dadurch, daß die einzelnen Kristalle ungleich groß und stark sind, entstehen Unregelmäßigkeiten, wodurch es zur Krümmung der Stengel kommt. Ist der Kanal zugewachsen oder verstopft worden, so tritt die Lösung an Fehlstellen aus, wobei der Bau eines Seitenastes beginnt, der aber auch schon früher ansetzen kann.

Schneidet man einen Stengel senkrecht zu seiner Achsenrichtung, so sind meist drei Zonen unterscheidbar:

- 1) Im Zentrum der Hohlraum, bzw. ihn später auffüllende Kristalle.
- 2) Zone sehr flächenarmer Kristalle mit (001), (011), (010) und (110). Die Fläche (110)

ist groß und trachtbeherrschend, während die übrigen schmal und klein sind.

3) Als äußerste Zone können Kristalle folgen, die sehr flächenreich sind und vollkommen denen gleichen, die seinerzeit schon W. KLEBER vom Erzberg beschrieben hat.

Denkt man sich eine Ebene durch einen Eisenblütenstengel gelegt, die parallel zu seiner Längserstreckung verläuft, so ordnen sich die Kristalle so an, daß (110) parallel zu ihr zu liegen kommt. Die Stengel erhalten dadurch ein etwas flaches Aussehen.

Mit dem U-Tisch wurden etwa 100 Kristalle vermessen. Es ergab sich, daß die Aragonitkristalle in der Weise orientiert sind, daß X bis zu  $20^\circ$  um die jeweilige Stengelwachstumsrichtung pendelt. Damit geht natürlich die kristallographische Achse konform.

Über geregelte Wachstumsgefüge veröffentlichte schon O. SCHMIDEGG. Unter anderem berichtete er auch über das Wachstumsgefüge des Erzbergit. Unter Erzbergit beschrieb HATLE (1892) eine Sinterbildung vom Erzberg (Steiermark), in der nebeneinander Aragonit und Kalkspat vorkommen. Der Erzbergit besteht in der Hauptsache aus weißem feinfaserigem Aragonit, in dem bräunliche und farblose Kalkspatzwischenlagen eingeschaltet sind. Sowohl die Aragonit- als auch die Kalkspatlagen schwanken oft im Verlauf ihrer Mächtigkeit. Also Verhältnisse, wie wir sie auch von anderen Sinterbildungen an anderen Orten kennen.

Das Diagramm der Achsenpole zeigt in einem Schnitt parallel der Faserung eine sehr gute Regelung, über 50% der Achsen liegen in der Nähe des Poles der Lagenkugel und nur etwa 10% weichen wesentlich davon ab.

Aus einem Anschliff ist ersichtlich, daß eine Umwandlung des Aragonits in Kalkspat vor sich gegangen ist. Es erhebt sich die Frage, warum einmal Aragonit als instabile Phase in der Natur sich überhaupt bildet und warum das eine Mal Aragonit und das andere Mal Kalkspat entsteht.

Synthetisch ist es möglich, durch schnelle Fällung von Kalziumkarbonat bei  $100^\circ \text{C}$  - etwa durch Zusammengießen von In - Calziumchlorid und In - Sodalösung - Aragonit herzustellen. Daß dabei Aragonit als einzige Phase erhalten wird, kann als Hinweis für größere Bildungsgeschwindigkeit gegenüber Kalkspat aufgefaßt werden.

Die meisten natürlichen Aragonite haben sich bestimmt nicht durch momentane Fällung gebildet. Aus Kristallgrößen und der Art des Vorkommen kann vielmehr in vielen Fällen auf ein sehr langsames Wachstum geschlossen werden.

Aus Laborversuchen geht folgende Tatsache hervor: Auf Grund der Zusammensetzung der Lösung sollte man eigentlich Dolomit oder Magnesiumkalkspat erwarten. Die Bildungsgeschwindigkeit dieser Phase ist jedoch so gering, daß das Löslichkeitsprodukt des Aragonit erreicht und überschritten wird, so daß dieser ausfällt.

Der Aragonit kann ungehindert wachsen, da er sehr wenig oder kein Magnesium einbaut.

Der Kalkspat hingegen, der mit steigendem Mg-Gehalt in der Lösung immer mehr Mg einbauen müßte, baut wohl zunächst Mg - Ionen an der Oberfläche ein. Diese sind nach außen hin fest mit  $\text{H}_2\text{O}$ -Molekülen verbunden. Die Aktivierungsenergie, die zur Entfernung dieser Wasserdipole nötig wäre, ist jedoch für Mg-Ionen viel zu groß, als daß die Kristalle mit Kalkspatstruktur weiterwachsen könnten. Sie bleiben im Keimstadium stecken, da ihre Oberfläche durch Mg-Ionen "vergiftet" ist.





SEKTION I

---

Ken ASHTON

## THE ANALYSIS OF SPELEO-HYDROLOGICAL CONFIGURATION

The purpose of the theory to be outlined in this paper is to obtain information concerning the configuration of any active cave system the resurgence of which is known but which may be otherwise completely or partially unknown. The theory treats such a cave system as a circuit, analogous to an electrical circuit, the elements of which are junctions and splittings of various types in the passages of the system. These circuit elements are connected together by means of lengths of passage which have a delaying effect upon the flow of water in that it takes time for water to pass along them. The rapid increase in the volume of flow which accompanies precipitation at the surface is the measurable quantity, the effect on which of our "circuit", we wish to study. The theory proceeds firstly by developing a mathematical, or rather a logical, calculus capable of describing such a circuit and which enables, by means of an automatic process, the form of the flow at the resurgence to be calculated from the configuration of the cave. It further enables us to prove that, for any cave system, this flow must be of a particular form. Conversely we are thus able, knowing the form of the flow, to deduce the configuration giving rise to it. It will appear that the relation of the form of the flow to the configuration is not one-to-one but, in practice the uncertainties arising can often be resolved to within a high degree of probability. Since it is impossible to give here a full treatment of the theory the principles will be introduced by means of examples, both the mathematics and more detailed procedures being omitted.

Let us consider, first of all, the two simplest possible cases:

1) a system having one inlet, one resurgence and a single, direct passage connecting the two as represented diagrammatically in fig. 1a.

In the case of a single shower of rain occurring at the inlet, the resulting flow both at the inlet and at the resurgence will be of the form shown in fig. 1 b (assuming for the sake of argument a non-karst collecting ground).

2) a systems having two inlets leading to a single resurgence as represented in fig. 2a. Again assuming a single shower occurring at both inlets, the resulting flow at the resurgence will be of one of the forms shown in fig. 2b. At this point we introduce the concept of the spectrum of an active cave system. This merely consists of a series of vertical lines drawn along a time-axis at points where impulses are shown as arriving on the graph of the flow at the resurgence. As will be seen from the examples of spectra in figs. 1c and 2c, they have the property of containing all the relevant information of the flow which is necessary for the theory without the confusing, alternative possibilities

which occur, for example, in fig. 2b. In the following, rather than graphs of flow, spectra will always be used for purposes of illustration.

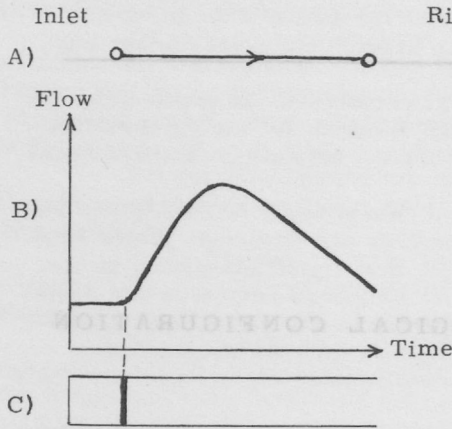


Fig. 1

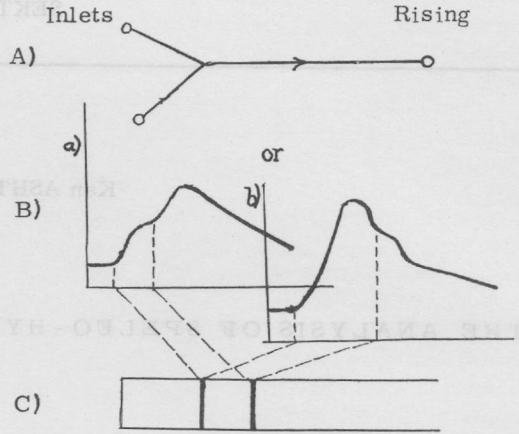


Fig. 2

So far we have illustrated one "element" of our circuit, namely a junction of passages. We shall now consider the idea of a passage splitting, the flow normally taking both alternative routes without a bias in favour of either branch. Let us consider a system with one inlet and one resurgence which, en route, splits and then rejoins as shown in fig. 3 and compare the resulting flow with example ii) above.

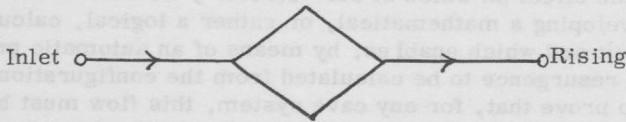


Fig. 3.

If the lengths of the two branch passages are at all significant it is theoretically highly improbable that they will be of similar length and so we would expect a resultant flow of the same form as in fig. 2b. In fact however, precipitation rarely occurs simultaneously at inlets which are significantly separated and so, were we to make a series of observations of these two types of system we should find that, in the second case, the two pulses were always equally separated whereas, in the first case (example ii) ) the separation would tend to fluctuate with different sets of observations. This will be illustrated further in the course of the next two examples.

Consider two systems having the same configurations as the two just discussed but where the passages marked by two cross strokes in figs. 4 & 5 are active under any condition of flow. Such passages will be termed, "inhibited". It may be worth noting in passing that a splitting of this type with one of the branch passages being inhibited is, on theoretical grounds, much more likely than the uninhibited case already discussed, although both do occur.

In these cases we have two distinct states of flow denoted as  $A_1$  and  $A_2$ ,  $A_2$  denoting that state requiring the greater volume of flow. Figs. 4 and 5 show the resulting spectra for these systems first in state  $A_1$ , secondly and thirdly in state  $A_2$  according to different observations, illustrating the difference between these two systems as described for the earlier pair of examples.

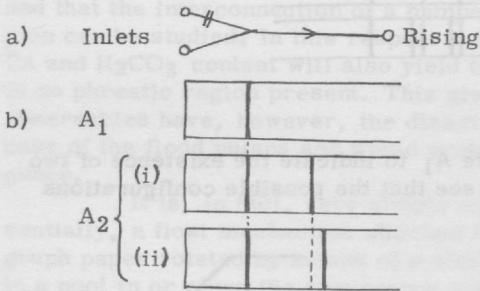


Fig. 4

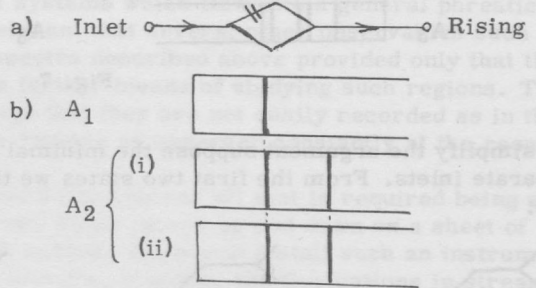


Fig. 5

To give a hint as to the workings of the mathematical theory it might be noted that the configurations shown in figs. 3 and 5, considered as circuit elements will duplicate whatever flow pattern enters them, in the case of fig. 5, only if the flow is above a certain state.

In practise, of course, we are rarely blessed with but a single shower of rain at all inlets although it is rare, at least in England, for all inlets not to be effected. We solve this problem by recording the flow pattern of one surface stream in the area, provided that the drainage of this area shows no complex features. Should such features occur it might be necessary to monitor all complex, and one non-complex stream which might be relevant. Unfortunately there is insufficient space to describe here the precise meaning of the term "complex" in this context but, by a non-complex stream is meant roughly speaking, one whose feeders all have similar profiles.

Given a record of the flood pulses available on the surface and those coming from the cave system we must seek to correlate to each pulse arriving at the inlets the resulting pulses at the resurgence. In this way, from each series of showers, we can derive a series of spectra. Furthermore, during such a series of showers, the cave system will go into successively higher states of flood, and so we can hope for a series of spectra which will yield information, not only on the inlets but also on the internal configuration of the system.

Let us now consider some further, simple examples. It will be easily seen that the configurations shown in fig. 6 have the corresponding spectra. It should be noted that the additional spectral lines which appear in states  $A_2$  may occur anywhere along the spectrum but that groups linked in the figure by horizontal arrows will maintain their mutual displacements.

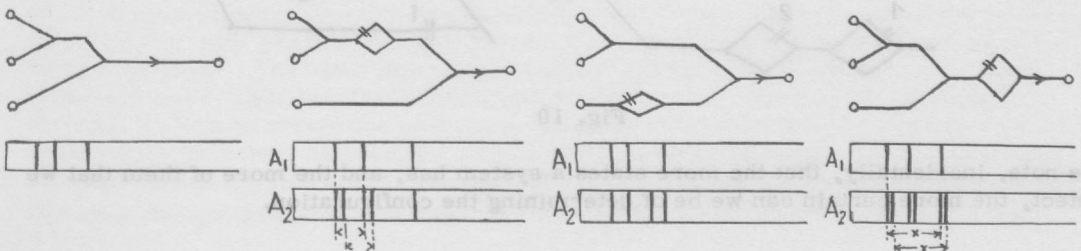


Fig. 6

Conversely, let us consider the two series of spectra shown below:

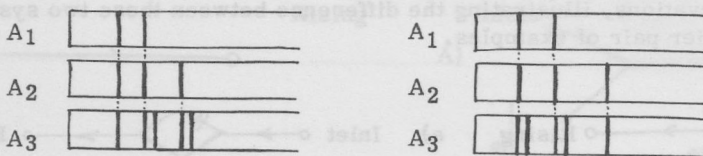


Fig. 7

To simplify the argument suppose the minimal state  $A_1$  to indicate the existence of two separate inlets. From the first two states we then see that the possible configurations are:

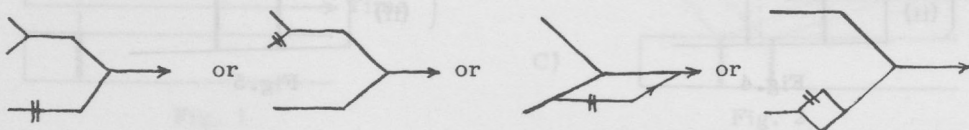


Fig. 8

The first two of these configurations have an inhibited inlet such as would occur in the case of a series of inlets along a stream bed which become active successively as the higher inlets fail to take the whole flow. The other two possibilities do not show this feature and so a decision between the two pairs of configurations will usually be possible from an examination of surface features. In the first case we see that that pulse, added in the second state, together with one other has been doubled. In the second case this added pulse is not doubled but the other two are. We therefore deduce that, if there are inhibited inlets, the respective configurations are of the forms:

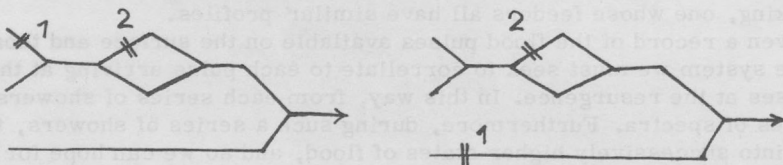


Fig. 9

In the absence of such inlets the respective configurations will be of the forms:

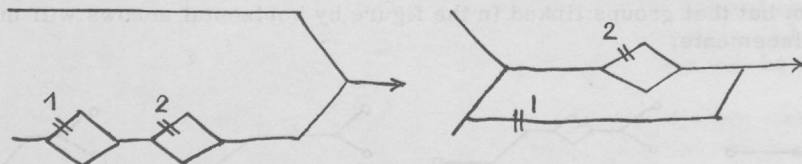


Fig. 10

We note, incidentally, that the more states a system has, and the more of them that we detect, the more certain can we be of determining the configuration.

We might briefly mention two further phenomena which can be studied. If a system has some section which is liable, above a certain state of flood to fill completely, this may be detectable since such a section will pass a flood pulse instantaneously. Thus, above a certain flood state, all pulses which have taken this route will be markedly displaced on the spectrum from the position which they occupied at lower states. In this way the actual branches liable to flooding may be determinable. It might also be mentioned that the interconnection of a number of systems which flow into a general phreatic region can be studied. In this respect it is relevant that several other observables such as Ca and  $\text{H}_2\text{CO}_3$  content will also yield the spectra described above provided only that there is no phreatic region present. This gives a further means of studying such regions. These observables have, however, the disadvantage that they are not easily recorded as in the case of the flood pulses and would probably require an observer constantly at the resurgence.

It is, in fact, very simple to record flood pulses all that is required being essentially, a float mechanism attached to a pen which moves up and down on a sheet of graph paper rotated by means of a clock. It suffices merely to install such an instrument in a pool in or along the resurgence and to measure, thereby, the fluctuations in stream level.

The deduction of a configuration from a set of spectra should usually be possible by means of logical argument. The converse problem, namely of deducing the flow from a survey of the cave is rather more awkward in any but the simplest cases. It is here that the calculus mentioned earlier has practical application. This technique could prove useful in cases where a part of a system is known, enabling a more detailed result for the whole system to be attained.

Needless to say, such information as can be obtained by these methods will achieve greatest significance only when considered in the light of the physical actualities of the case; the geological and hydrological potentialities of the area under consideration.

The author will be pleased to give more detailed information to anyone interested in trying out these techniques and to help in the analysis of results.

#### Diskussion.

GAMS: Dr. Ing. F. JENKO führt in seinem Buch "Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasa", Ljubljana 1958, Beweise dafür an, daß dem Steigen des Hochwasserniveaus nicht unbedingt ein Steigen des Wasserausflusses folgt. Diese Tatsache könnte Komplikationen in den Berechnungen verursachen, die der Vortragende vorschlägt.

ASHTON: Provided we know the form of the change in the flow graph the analysis of the output graph should still be possible in terms of the inflow graph, particularly in view of the fact that the important element is the point at which the flood pulse first appears.





Alfred W. H. BÖGLI

### DER HÖHLENLEHM.

Im Verlauf der Erforschung des Hölloches (Muotathal, Schweiz) ergab sich die Notwendigkeit einer grundlegenden Untersuchung des Höhlenlehmes. Als wichtigstes Ergebnis war der schlüssige Beweis für die allochthone Herkunft gewonnen worden. Das deckt sich mit der Auffassung, daß die 2 bis 5% Verunreinigungen im Kalke niemals genügen würden, die Riesenmengen an Höhlenlehm zu erklären.

Die granulometrische und chemische Bestimmung wurde durch A. HAENGGI durchgeführt. Sie bewies die Heterogenität der Höhlenlehme, die mir schon in vielen anderen Höhlen durch einfache Prüfungsmethoden aufgefallen war.

#### Die Stellung der Höhlenlehme unter den klastischen Sedimenten.

Der Höhlenlehm umfaßt die ganze Reihe von den schwersten Tönen bis zu den feinsandigen Lehmen. Unter den Höhlensedimenten geht dann die klastische Reihe weiter bis zu den grobblockigen Deckenstürzen. Wollte man die Häufigkeit des Auftretens irgendwie bestimmen, so würde man feststellen, daß gewisse Komponenten recht selten sind, so die gerundeten Kiese und Feinkiese, sowie die Grobsande, während die groberen und feineren Fraktionen häufig gefunden werden. In den Höhlenlehmen fehlen meist die groberen Komponenten, weil sie sich vorwiegend in den toten, vom fließenden Wasser nicht mehr berührten Höhlenräumen ablagern. Im eigentlichen Strömungsraum kommt Höhlenlehm nur in geringen Mengen und meist nur in der Schlußphase einer Überschwemmung zum Absatz, wird jedoch hier recht häufig durch das ablaufende Restwasser an der Gangsohle weggespült.

Sobald wir mit Druckströmung rechnen müssen unterscheiden sich die hydrographischen Verhältnisse in solchen Höhlen ganz wesentlich von jenen der Oberwelt, da auch Gegensteigungen bestehen, die das Weiterschaffen grober Komponenten behindern. Die volle Zurundung von Kalkstücken erfolgt im normalen Flußtransport innert zwei bis drei km und der Abrieb auf die Hälfte auf der zehnfachen Strecke. In Höhlen verkürzen sich diese Strecken auf ein Zehntel bis auf einen Hundertstel, je nach dem Ausmaß der eingeschalteten Gegensteigungen. Gerölle werden so lange an der tiefsten Stelle herumgewirbelt, bis sie auf ein Maß verkleinert sind, das dem Wasser gestattet, sie über die nächste Kulmination zu reißen. Das führt

zu einer Sonderung nach der Korngröße, die in vielen Höhlen ausnehmend klar zu erkennen ist. Es muß angenommen werden, daß in größeren Höhlen alle Kiese aus Kalk autochthon sind. Gerölle sind ausgesprochen selten, jedoch an geeigneten Orten meist in großen Haufen akkumuliert.

Nach der deutschsprachigen Literatur ist der Höhlenlehm meist autochthon. Dieser Ausdruck bedeutet nun an Ort und Stelle entstanden. Das ist bei grossen Höhlen nicht der Fall, kann doch im Hölloch ein Gerölle 10 km weiter weg seinen Ursprung genommen haben. Besser wäre der Ausdruck parautochthon, der auch in der Tektonik eine Rolle spielt.

Die petrographischen Voraussetzungen gewährleisten eine hohe stoffliche Konstanz der klastischen Sedimente. Ein Höhlengewässer aber kann zu Zeiten stark erodieren und korrodieren, zu anderen Zeiten ist es nicht in der Lage, ein Lehm-partikel zu transportieren oder ein Kalkstäubchen aufzulösen. Darum ist wegen der ausnehmend starken Wechsel in den Transport- und Aufbereitungsbedingungen die physikalische Zusammensetzung denkbar variabel.

### Die Zusammensetzung des Höhlenlehmes.

Der Höhlenlehm zeigt sehr aufschlußreiche Variationen. Es hat sich gezeigt, daß der Humusgehalt im Innern eines Siphons niedriger ist als an einer dem Überlauf benachbarten Stelle, weil hier die leichteren Humuspartikel aufschwimmen. Der Gehalt steigt von 2.96% auf 4.46%, was übrigens dem einer guten Ackererde entspricht. Auf der anderen Seite des Siphons, wo ein Wegschwemmen nicht möglich ist, steigt der Gehalt auf das Maximum von 8.88%. Diese Verhältnisse wiederholen sich mit einer überraschenden Konstanz. In den frühdiluvialen Höhlenlehmen des inaktiven Himmelsanges wurde das Verhältnis von 0.24% zu 1.02%, an anderer Stelle von 0.78% zu 1.28% angetroffen. Der Humus ist selbverständlich allochthon und ein Indiz für die allochthone Herkunft des Höhlenlehmes selbst.

Auch die Kalkgehalte ergeben interessante Zusammenhänge. in den jungen, humusreichen Höhlenlehmen erreicht er 16.6.%, ein Indiz dafür, daß der Höhlenlehm kein Lösungsrückstand sein kann, da sonst diese feinsandigen Komponenten weggelöst worden wären. Nun ist aber meist der Kalkgehalt noch viel höher, ja so groß, daß er nicht nur durch den Feinsand repräsentiert werden kann, sondern auch noch einen beträchtlichen Anteil der Schluffraktion ausmacht. Im Domgangbereich übersteigt der Kalkgehalt 40% und erreicht ein Maximum von 49.7%. Davon ist weniger als die Hälfte Feinsand, der Rest wohl Schluff und vielleicht auch etwas Tonfraktion. Besonders extrem sind die Verhältnisse in der Abzweigung 5 des SAC- Ganges, wo sogar noch nahezu 10% der Tonfraktion aus Kalk besteht. Diese Tonfraktion besteht übrigens nicht aus reinem ton, sondern ist eine nach der Kopeckimethode gewonnene granulometrische Fraktion dieses Namens und keineswegs identisch mit der chemischen Substanz Ton. Diese Ausdrücke wurden aus der Bodenkunde übernommen, wo die granulometrische Zusammensetzung manchmal wichtiger ist als die chemische. Der Kalkanteil muß den Erosionsvorgängen in der Höhle entstammen, da er bei Korrosion weggelöst worden wäre. Das ist ein indirekter Beweis für die Bedeutung der Erosion bei der Höhlenbildung.

### Höhlenlehm und Höhlenklima.

Der Höhlenlehm zeigt häufig Ausblühungen vor allem von Gips. Sie sind recht häufig und können an vielen Orten beobachtet werden. Diese Erscheinung kann nur höhlenklimatisch erklärt werden.

Das Klima des Hölloches zeichnet sich im bisher erforschten Teile durch die Konstanz der Faktoren aus, was bei 74 km vermessener Länge in einer Tiefe von 300 bis 900 m unter Tag an sich selbverständlich ist. Im Sommer sinkt die Temperatur unter dem Einfluß des Schneesmelzwassers auf 5 bis  $5\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ , im Winter



steigt sie auf gegen  $6^{\circ}\text{C}$ . Die geothermische Tiefenstufe macht sich nicht bemerkbar. Die Feuchtigkeit schwankt zwischen 80 und 98%, und kann ausnahmsweise 100% erreichen. Die Höhlenwinde sind nur in den Hauptgängen kräftig, sonst aber an der Grenze der Nachweisbarkeit. Trotz der hohen Luftfeuchtigkeit besteht doch immer ein kleines Sättigungsdefizit, so daß der Lehm allmählich austrocknet und in große Schollen zerfällt. In seinem Innern stellt sich eine aufsteigende Wasserbewegung ein, die wesentlich für die Bildung von Gipskristallen und die Gipsausblühungen verantwortlich ist. Das sind aber Verhältnisse, wie sie für ein arides Klima gelten. Dies wird auch durch den pH-Wert der Böden belegt. Nach SCHEFFER und SCHACHT-SCHABEL liegen die pH-Werte von Mineralböden arider Klimate zwischen 7 und 11, der humiden aber zwischen 3.5 und 8. Die alten, den Einwirkungen des ariden Höhlenklimas schon längere Zeit ausgesetzten Höhlenlehme zeigen Werte von 8.0 bis 8.5. Dagegen erreichen die jungen, rezenten Höhlenlehme noch pH-Werte von 7.7 bis 8.0 und beweisen dadurch ihre ursprüngliche Herkunft aus dem humiden Klima der Erdoberfläche.

Die meteorologische Station von Cap Juby am Westrande der Sahara weist, abgesehen von der Temperatur ähnliche Verhältnisse auf, wie das Höhlenklima des Hölloches, liegt doch die Luftfeuchtigkeit zwischen 81 und 92% bei nur 10 cm Niederschlag. Die Kondensationen, das Äquivalent zu den Niederschlägen beim Cap Juby, halten sich bei der riesigen Ausdehnung des Hölloches in sehr bescheidenem Rahmen. Es gilt bei fast allen alpinen Höhlen die höhlenklimatische Feststellung, daß die Verdunstung größer ist als die Niederschläge, was eindeutig Aridität bedeutet. Sie bewirkt auch das Altern der Höhlenlehme.

#### Diskussion.

RENAULT: Il y a eu en France de nombreux travaux sur les argiles, certains orientée dans des voies très spécialisées, telles celles de M. CAUMARTIN sur la bactériologie des argiles effectuées au Laboratoire de Moulis.

M. BÖGLI a souligné la complexité des phénomènes sédimentaires souterrain, insisté sur l'importance de la teneur en humus de l'interprétation de la gène d'une argile et précisé le régime climatique, rapproché d'un climat saharien, très particulier précisons-le, puisque avec ses 81% d'humidité il s'oppose aux 0 à 5 % du Sahara central.

Félicitons également M. BÖGLI pour les magnifiques photos accompagnant cette communication.



SEKTION I

Alfred W.H. BÖGLI

HÖHLENKARREN .

Karbonatkarren sind Kleinformen der Korrosion auf Karbonatgesteinen. Es gibt in Höhlen zahlreiche Formen, die dieser Definition gerecht werden. Die Genese weicht in einzelnen Fällen ganz beträchtlich von jener der Oberflächenformen ab, ist aber meist identisch damit. Allerdings sind Formen des ersten und zweiten morphogenetischen Wirkungstyps der Kalklösung nicht zu erwarten, da das frische, unverbrauchte Niederschlagswasser fehlt. Ausnahmsweise finden sich typische Rillenkarren in Schachthöhlen da, wo Schmelzwasserspritzer das erste Mal auf Kalk auftreten. Ob man diese sehr seltenen Gebilde noch zu den Höhlenkarren zählen soll ist fraglich; an sich möchte ich dies bejahen, obschon der Zusammenhang mit atmosphärischen Niederschlägen evident ist. Prinzipiell müssen wir sie aber auch erwarten, wo unter ähnlichen Bedingungen Höhleneis abschmilzt.

Wir unterteilen die Höhlenkarren zunächst nach ihrer Entstehungssituation, das heißt, nach ihren Beziehungen zum Höhlenwasser, dem sie ihre Entstehung verdanken. Eine weitere Unterteilung kann des weiteren erfolgen durch die Verschiedenheit von Decke, Seitenwänden und Boden im Höhlenquerschnitt.

Es stellt sich jedoch primär die Frage, wann eigentlich korrosives Wasser auftritt, da in tiefen Höhlen mehrere Hundert, ja Tausend Meter zwischen Eintritts- und Wirkungsstelle liegen. Bei Hochwasser summiert sich die Wirkung der großen Wassermenge und des schnellen Fließens, so daß kalkaggressives Wasser weit in die Höhle vordringen kann, da nicht genügend Zeit besteht um das  $\text{CO}_2$ -Gleichgewicht mit der Höhlenluft zu erzielen. Bei Hochwasser geht aber meist die Strömung in ein Druckfließen über, während welcher Zeit entweder eine  $\text{CO}_2$ -Aufnahme entweder unmöglich, oder doch zum mindesten äußerst eingeschränkt ist. Solches Wasser kann im Prinzip jeden beliebigen Ort im aktiven Teil der Höhle erreichen, und es wird beim Zusammentreffen mit Luft- $\text{CO}_2$  kalkaggressiv werden. Dann aber ist jedes kalkarme Wasser, das unter Druckfließen den Höhlenraum erreicht, im Augenblicke der Berührung mit der Höhlenluft korrosionsfähig.

Die nachfolgende Systematik der Höhlenkarren gilt nur für einigermaßen homogene, dickbankige Kalke.

I. Höhlenkarren bei voller Wasserfüllung des Raumes.

Da keine  $\text{CO}_2$ -Aufnahme erfolgt, wenn das Wasser den Hohlraum ganz erfüllt, können sich bei einem stationären Zustande auch keine Karren bilden. Und doch finden sich solche.

Da gibt es nun verschiedene Möglichkeiten. Wenn die Wassermasse groß genug ist, dann kann der  $\text{CO}_2$ -Gehalt beim Übergang zum Druckfließen nicht sofort aufgebraucht werden und bewirkt noch über längere Strecken eine allmählich abnehmende Korrosion. Wenn der Wasserstand schnell zwischen voller Hohlraumfüllung und Füllung mit freier Wasseroberfläche wechselt, so sind die Grundbedingungen zur Korrosion ebenfalls gegeben.

#### A. Deckenkarren

a) Deckenfazetten bilden sich nur in fließendem Wasser. Sie unterscheiden sich von den übrigen Fazetten durch ihre bedeutende Größe und werden wohl im wesentlichen durch Korrosion allein hervorgerufen.

b) Deckenkarren s.s. weisen zwar recht unterschiedliche Formen auf, doch sind sie alle durch das kräftige Hervortreten der meist runden, hie und da auch scharfen Karrengrate gekennzeichnet.

#### B. Wand- und Bodenkarren

Ein Äquivalent zu A/b, den Deckenkarren im engeren Sinne, gibt es nicht. Dagegen treten Fließfazetten recht häufig auf. Sie sind jedoch nicht an die Wassererfüllung des Raumes gebunden, sondern finden sich überall da, wo Wasser in Schichten über den Kalk hinfließt. Die Berechnungsformel, von BOCK vor vielen Jahren aufgestellt, die eine Beziehung zwischen Fließgeschwindigkeit und Fazettengröße herstellen will, hat sich nicht bewährt und muß fallen gelassen werden. Bei der Bildung der Fließfazetten ist immer auch Erosion mitbeteiligt, gelegentlich die Hauptursache.

### II. Höhlenkarren bei zeitweilig wassererfüllten Räumen.

Höhlenrillen sind durch ihre strenge Anordnung nach dem Gefälle, ihrer häufigen Lückenlosigkeit in der Aufeinanderfolge und der seichten Querschnittsform den Rillenkarren der Oberfläche recht ähnlich, weichen aber in der Genese grundsätzlich davon ab. Ihre Entstehung blieb lange Zeit rätselhaft, bis ich in der Überschwemmungszone des Hölloches und anderswo unter ähnlichen Bedingungen auf hochwasserverlehnte steile Flächen stieß, auf denen das Ablaufwasser den Lehm in Streifen weggewaschen und so das Gestein entblößt hatte. Kondenswasser fällt bei den beobachteten Beispielen aus, kann aber unter anderen Bedingungen, speziell in der Nähe des Ausganges, vielleicht eine Rolle spielen. Das ablaufende Wasser kann wegen seiner geringen Menge als Erzeuger der Höhlenrillen jedoch nicht in Frage kommen. Die nächste Überschwemmung greift nun mit dem korrodierenden Wasser die entblößten Streifen an und fixiert mit der vorerst unmerklichen Eintiefung bereits den Weg des Ablaufwassers beim nächsten Rückgang aus dem Hochwasserstand. Das Auftreten einer oberen Grenze solcher Höhlenrillen ist kennzeichnend und zeigt entweder den Hochwasserstand selbst an oder dann das Niveau, bei welchem sich die Bildungsbedingungen regelmäßig einstellen. Wir haben diese Höhlenrillen in vielen Höhlen, besonders zahlreich aber im Hölloch angetroffen. Sie werden wegen ihrer Flachheit meist übersehen.

### III. Höhlenkarren an Höhlengerinnen.

Man hat in diesen Fällen zu unterscheiden, ob die Karren Relikte früherer Stadien der Höhlenbildung sind, oder ob sie auf Evaquationsflächen entstanden.

a) Schichtfugenkarren sind primäre Formen auf Schichtfugen. Sie unterscheiden sich kaum von den oberflächlichen Mäanderkarren, denen sie in der Genese ganz entsprechen. Allerdings können sie sich bei Anwesenheit von Bodenluft mit hohem Gehalt an biogenem  $\text{CO}_2$  schneller entwickeln.

b) Reliktformen können sich nur an den Decken erhalten, weil in der Höhlenentwicklung die Sohle meist in die Tiefe verlegt wird, wobei deren Formen untergehen. Je nach der Dichte des primären Gerinnenetzes bilden sich entweder Deckenrinnen, wie sie in der Beatushöhle als Typus auftreten, oder sie lassen Deckenzapfen zurück,

wie sie H. LEHMANN aus den Höhlen Kubas in teilweise meterlangen Formen beschrieben hat, und wie sie im Hölloch den kleinen Typus vertreten.

c) Ablaufwasser aus Schichtfugen, das noch korrosiv ist, und das Ablaufwasser sich schnell senkender Überschwemmungen vermögen Höhlenrinnen zu erzeugen, die genetisch und formenmäßig den Mäander- und Wandkarren der Erdoberfläche entsprechen.

d) Wenn Rinnenkarren sehr dicht angelegt werden, oder wenn Eis und Schnee, z.B. in Schachthöhlen eine lange, gelegentlich sogar flächenhafte Benetzung hervorrufen, dann bilden sich durch Formkonvergenz die Höhlenspitzkarren, die manchmal messerscharf sind. Sie sind wie die oberflächlichen Spitzkarren ausgesprochene Reifeformen, was den ähnlichen Namen rechtfertigt.

#### IV. Karrenformen beim Austritt von korrosivem Wasser aus Fugen.

Wie schon in der Arbeit über die korrosiven Bildungsbedingungen von Höhlenräumen gezeigt, kann bei Druckfließen Wasser mit geringem Kalkgehalt über weite Strecken hinweg den Höhlenraum erreichen. Beim Austritt aus den Fugen kommt es mit der Höhlenluft in Berührung und wird sofort korrosiv, sofern es in dünner Schicht und langsam austritt und nicht mit Druck herauspritzt. Die Folge davon ist die Bildung kolkähnlicher Hohlformen, die von wenigen Zentimetern bis zu einigen Dezimetern, ja Metern Durchmesser erreichen können. Deckenkolke sind als spezielle Karrenformen in inaktiven Gängen oder in der Hochwasserzone entstanden, keinesfalls aber als Wirkung turbulenten Wassers anzusprechen.

Damit sind die Grundtypen der Höhlenkarren aufgezeigt worden. Die Vielfalt der Formen läßt sich hier meines Erachtens einigermaßen lückenlos einordnen.

#### Diskussion.

WARWICK: In some Welsh caves there are other "Höhlenkarren" - which are probably caused by condensation water. First in Plas Heaton Cave, Denbighshire, N. Wales, there are small polygonal depressions in the roof, with symmetrical cross-section, contrary to the more usually asymmetrical scallops. There are also superimposed upon faint vertical "flutes". This cave is only about 40 - 50 m long, but with a large entrance. Again in Agen Allwedd, Brecknockshire, S. Wales, there are fine "rills" upon mud, which are considered to be due to condensation water by GLENNIE. Perhaps "trip-pits" in mud should also be included within the classification of "Höhlenkarren".

BÖGLI: Kondenswasserkarren gibt es auch im Hölloch und zwar Grübchenformen mit einem Querschnitt von einigen Millimetern bis zu 1 Zentimeter. Sie befinden sich ca. 2000 Meter vom Eingang !

LEHMANN: In der Gipshöhle von Segeberg (Holstein) ist eine ganze Reihe von Formen anzutreffen, die vollkommen den bekannten Deckenkarren im Kalk entspricht. Sie sind durch einfache Lösung ohne Mitwirkung von CO<sub>2</sub> dadurch entstanden, daß die Lösungsvorgänge dem latenten Kluftnetz folgen.

HELLER: In der Kleinen Teufelshöhle bei Pottenstein in der Fränkischen Schweiz (Deutschland) kommen an einer Stelle mehrere Deckenzapfen vor, die in ihrer Größe durchaus den Gebilden aus dem kubanischen Karst gleichkommen. Ihre Entstehung fällt mit Sicherheit in einen Zeitraum mit absolut tropischem Klima, vielleicht sogar noch in die Kreidezeit.



Bezüglich der von Professor LEHMANN in der Diskussion erwähnten Karrenformen in der Segeberghöhle sei auch auf Beobachtungen in Gipshöhlen (im Grundgips des Keupers) Franks hingewiesen, über welche eine Veröffentlichung von H. CRAMER und Fl. HELLER in den "Mitteilungen über Höhlen- und Karstforschung" vorliegt.

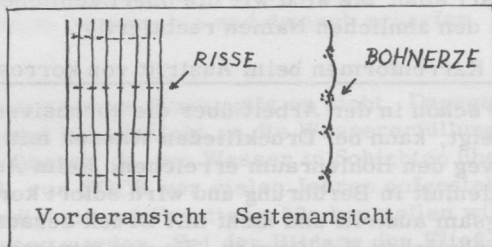
BÖGLI: Ich möchte Herrn HELLER fragen, ob die erwähnten Deckenzapfen in einer alten, tertiären Höhle auftreten. Wenn dies der Fall ist, ist eine Parallelität zu jenen auf Kuba zweifellos gegeben.

HELLER bejaht diese Frage.

FRANK: In diesem Zusammenhang ist die Beobachtung von Höhlenkarren in den Schächten der Laichinger Tiefenhöhle (Schwäbische Alb) interessant. Es handelt sich dort um Karren an der senkrechten Schachtwand, die aber an Rissen mit horizontalem Verlauf immer wieder absetzen. Auf den einzelnen Absätzen liegen, wie die Beobachtung zeigt, kleine Ansammlungen von Bohnerzkerzchen.

FRANKE: Ergänzend möchte ich bemerken, daß es zur Erklärung mancher Karrenformen nicht notwendig ist, zwischen Lösungsvorgängen, an denen Kohlendioxyd beteiligt ist, und anderen zu unterscheiden. Beispielsweise wird der prinzipielle Unterschied zwischen Boden- und Deckenformen von Karren, die sich in luftgefüllten Räumen bilden, klar, wenn man auf die Tatsache zurückgeht, daß das Wasser stets die "Falllinien" zum Abrinnen benutzt. Insbesondere sei der wichtige Fall der Deckenkolke erwähnt, bei dem sich auf Grund des Abrinnprinzips meist gleichmäßig gerundete Hohlformen bilden.

BÖGLI: Physikalische Lösung gibt es im Inneren der Höhle nicht mehr, sondern nur chemische Lösung, d. h. unter Umwandlung von Karbonat in Bikarbonat.



SEKTION I

Alfred W. H. BÖGLI

KORROSIVE BILDUNGSBEDINGUNGEN VON HÖHLENRÄUMEN

Die Auflösung des Kalkes erfolgt in der Natur in 3 morphogenen Wirkungstypen (vergl. BÖGLI: Kalklösung und Karrenbildung; Zeitschr. f. Geomorphologie Suppl. bd. 2, 1960). Von ihnen kommt nur der dritte für die Höhlenbildung in Frage. In ihm bestimmt die Diffusionsgeschwindigkeit des Luft-CO<sub>2</sub> in das Höhlenwasser den sekundlichen Stoffumsatz und damit das Ausmaß der Kalklösung. Je höher die Temperatur, umso höher die Diffusionsgeschwindigkeit und damit auch die sekundlich gelöste Kalkmenge. Das erklärt, warum in den Tropen die Lösungsvorgänge im allgemeinen viel intensiver sind als in kälteren Zonen.

Über diese Beziehung Luft-CO<sub>2</sub> und Kalklösung hinaus sind noch weitere Lösungsvorgänge in Höhlen möglich, doch nur, wenn eine CO<sub>2</sub> Zufuhr besteht. Es sei im Folgenden von der Wirkung juveniler Kohlensäure abgesehen, die in Spezialfällen, z.B. in Ungarn eine Rolle spielt. Als Kohlensäurequelle kommt in Höhlen nur noch eingeschwemmte organische Substanz in Frage, die praktisch wohl nirgends fehlt. Wir haben beispielsweise bisher noch keine absolut humusfreien Höhlenlehme angetroffen (vergl. BÖGLI: Der Höhlenlehm, Symposium internazionale di Speleologia, Varenna, 1960). Um organische Substanz in CO<sub>2</sub> umzuwandeln, ist ein O<sub>2</sub>-Gehalt des Höhlenwassers unerlässlich, abgesehen von vermutlich zu vernachlässigenden Wirkungen anaerober Bakterien. Prinzipiell besteht somit auch die Möglichkeit einer, wenn auch bescheidenen Korrosion unter Abwesenheit von Luft-CO<sub>2</sub>, also von Luft selbst. Diesem bisher übersehenen Tatbestand kommt wahrscheinlich nur unter besonderen Bedingungen eine größere Bedeutung zu.

Die konsequente Anwendung der Lösungsgesetze führt zu Ergebnissen, die für die Speleogenese von grundlegender Bedeutung sind. Wir betrachten als Testbeispiel eine enge, z.B. subkapillare Kluft, die in einiger Tiefe eine weite, luftführende Kluft schneidet; das Wasser entstamme einem nackten Karst und führe daher keinerlei organische Substanzen mit sich. Zahlreiche Messungen haben ergeben, daß unter diesen Umständen das Wasser mit einem Kalkgehalt von 17 mg/Liter im Erdbinnen verschwindet (Mittelwert). Es tritt aber mindestens 70 mg weiter unten wieder ans Tageslicht. Soweit noch Luftberührung besteht, wird die aufnehmende Kluft erweitert, und, da eine Verzögerung der Reaktion mit dem Kalke besteht, kann sich das einige Zentimeter weit darüber hinaus auswirken. Hier endet aber die korrosive Wirkung des Wassers unvermittelt und die Druckströmung geht ohne weitere Korrosion vor sich.

Dies kann über mehrere hundert oder tausend Meter weitergehen, wie wir im Hölloch bei über 600 m Überlagerung nachweisen konnten. Irgendwo im Gesteinsinneren wird nun eine luftführende Kluft angeschnitten. Sofort setzt die  $\text{CO}_2$ -Diffusion ins Wasser wieder ein und es vermag erneut zu korrodieren. So bilden sich endogene bedeutende Hohlräume, die nie eine größere Verbindung mit der Oberwelt gehabt haben. Im Kleinen finden so entstandene Höhlengänge ein Äquivalent in Höhlenkarren an Wänden und Decken, die Deckenkolken äußerst ähnlich sind. Es liegt auf der Hand, daß sinngemäß auch der Ausgang einer solchen Spalte ins Freie zur Bildung von Höhlen führen muß, die häufig den Charakter einer Halbhöhle aufweisen und meist durch Verwitterung erklärt werden.

Das Aspirieren von Luft schon mit dem eindringenden Wasser oder dann durch benachbarte Spalten (Typus Wasserstrahlluftpumpe) ändert natürlich die Bedingungen und kann zu einer durchgehenden Korrosion führen.

Eine Modifikation kann durch organische Substanzen bewirkt werden. Ihre Umwandlung in  $\text{CO}_2$  erfolgt nur langsam, nimmt jedoch mit zunehmender Temperatur beträchtlich zu. So kann eine Kluft auch unter völligem Luftabschluß noch geringfügig korrosiv erweitert werden.

Die Lösungsbedingungen erklären zwanglos die häufig gemachte Beobachtung, daß eindeutig hydrisch geformte Gänge verschiedenster Größe unvermittelt apsisartig enden und eine oder mehrere sehr kleine Fortsetzungen in der Kluftfläche aufweisen, deren Querschnitte nur einen sehr kleinen Bruchteil des Gangquerschnittes ausmachen. Normalerweise, d.h. vorausgesetzt, daß sich beidseitig der Gesteinsfuge korrosiv identisch verhaltendes Gestein befindet, mündet die erzeugende Fläche weder im Niveau des Gangfirstes, noch in jenem der Gangsohle, sondern irgendwo dazwischen.

Das Ergebnis der korrosiven Erweiterung der Klüfte führt in der Regel zur Bildung eines Schlitzes, und erst die später einsetzende Erosion führt zur eigentlichen Ellipse.

Häufig wird beim Druckfließen durch das Wasser aus Spalten Luft nachgesogen. An der Höhlendecke bildet sich dabei eine Zone von Luftblasen, in der die Korrosion erneut einsetzt. Außerdem wird hier durch die Turbulenz eine Zone verstärkter Erosion geschaffen. Dies führt zwangsläufig zur Bildung von Wirbelkanälen, die gegen unten allmählich auslaufen. Wir haben dies vor einigen Jahren im "Stalactite" veröffentlicht.

Beim Fließen mit freier Oberfläche entstehen im Bergesinneren alle jene Formen, die wir an der Erdoberfläche unter dem Namen Mäanderkarren, Wandkarren kennen. Sie erreichen aber mitunter gewaltige, an der Oberfläche nicht bekannte Größen, indem sie einen ganzen Höhlenquerschnitt in die Tiefe projizieren können. In diesem Sinne vertritt die Paläotraun in der Dachsteinmammuthöhle wohl einen sehr extremen Fall von Schluchtgangtyp, wie ich ihn seinerzeit benannt habe. Von da bis zur kleinen Bodenrinne gibt es alle Übergänge.

Ein besonderes Problem bietet die Frage der Gangentstehung unter dem allgemeinen Karstwasserniveau. Es sei festgehalten:

1. Gänge unter einem alten Karstwasserspiegel und diesem irgendwie genetisch verbunden existieren eindeutig.
2. Gänge unter dem aktuellen Karstwasserniveau sind häufig.
3. Die Lage der tiefsten Gänge unter dem heutigen Karstwasserspiegel ist unbekannt, doch örtlich recht bedeutend, z. B. bei Agostoli. Ihre Tiefe wird aber im allgemeinen vermutlich ganz beträchtlich überschätzt.

Die korrosiven Bildungsbedingungen ergeben aber folgendes Bild, das auf den ersten Blick sich kaum mit den obigen Punkten vereinbaren läßt.



1. Unterhalb eines Karstwasserspiegels hört die Kalkkorrosion auf. Das hat zur Folge, daß unter einem permanenten Karstwasserspiegel eine Höhlenbildung durch Korrosion 1. Art nicht möglich ist.
2. Unter dem Karstwasserspiegel korrodiert Wasser mit organischer Substanz nur dann, wenn es Sauerstoff enthält. Da dieser Vorgang sehr langsam vor sich geht, sind zur Erweiterung der Klüfte und Fugen zur Höhlengröße sehr lange Zeiträume notwendig. Die Wirkung geht überdies nicht tief.
3. Die Voraussetzung für die Erosion unterhalb des permanenten Karstwasserspiegels ist eine genügende karsthydrographische Wirksamkeit, was entweder das Bestehen von genügend großen Urhohlräumen im Sinne von O. LEHMANN voraussetzt, was ich nur in ganz seltenen Fällen für wahrscheinlich halte, oder eine erste korrosive Erweiterung, die nach P. 2 geringfügig und nicht tiefgehend ist.

Alle Gänge, die unter einem jetzigen oder ehemaligen Karstwasser - spiegel liegen, müssen daher in ihrer Interpretation überprüft werden.

a. Ist der heutige Karstwasserspiegel etwa höher als früher? Die Wahrscheinlichkeit hiefür ist sehr groß. In den Alpen erfolgte im Rißglazial eine Übertiefung, der später eine Aufschotterung aufs heutige Niveau folgte; andernorts ergeben sich seit dem Tertiär tektonische Bewegungen, so in den Alpen oder in Frankreich. Dazu kommen eustatische Meeresspiegelschwankungen bis zu - 100 m gegenüber heute, die sicherlich für die Erklärung der Meerschwinden, bzw. der Entstehung ihrer Verbindungswege von Bedeutung sind.

b. Es ist kennzeichnend, daß Höhlenniveaus eindeutig existieren und daß die dazugehörigen Gänge im Raume von  $\pm 50$  m darüber und darunter zu finden sind. Es besteht aber keine Sicherheit, daß eine bestimmte Lage, z.B. die Mittellage das ehemalige Karstwasserniveau darstellt. Es ist eher anzunehmen, daß es als permanentes Niveau an die untern Umkehrpunkte der Gänge gebunden war, und daß die übrigen Teile das Ausmaß der temporären Wassererfüllung angeben.

Damit zeigt die Frage der korrosiven Bildungsbedingungen der Höhlenräume die Problematik, um nicht zu sagen die Voreingenommenheit der Erklärung der Höhlenbildung unter dem permanenten Karstwasserspiegel auf. Sie zwingt uns klar auszusagen, was wirklich bekannt und was nur vermutet ist. Die Theorien über Höhlenentstehung tief unter einem permanenten Karstwasserspiegel gehen von der bisher unbewiesenen Auffassung aus, es gebe dort diese korrosiv entstandenen Höhlen wirklich. Davon sind jedoch gemäß Bedingung die seltenen größeren Urhohlräume ausgenommen, die ebenso wie die korrosiv entstandenen eine Vorbedingung für das Einsetzen der Erosion sind.

#### Diskussion.

LEHMANN: Die Auffassung von Herrn BÖGLI besagt, daß nur in dem periodisch durchflossenen "Stockwerk" Korrosion auftritt, weil nur hier aktives  $\text{CO}_2$  zur Verfügung steht. Höhlen unter dem Karstwasser "spiegel" stammen demzufolge aus einer Zeit, in der die permanent mit Wasser erfüllte Zone tiefer lag - dank eustatischer oder isostatischer Bewegungen. Ich würde nicht von Karstwasser-"spiegel" sprechen, da von einem horizontalen Niveau der obersten permanenten Wasserführung auch nach den Beispielen von BÖGLI nicht die Rede sein kann. Im übrigen ist die logisch aus den Lösungsvorgängen abgeleitete Auffassung BÖGLIS sehr folgenreich, wenn sie sich bestätigt. Sie würde untermeerische Quellaustritte erklären durch Weiterbenützung älterer, in einem höheren Karststockwerk angelegter Höhlensysteme. Doch setzt die Auffassung stets relative Senkung voraus.

**GEZE:** Les conclusions du professeur BÖGLI rejoignent les observations publiées par M. ROQUES. Dans des pertes des Causses du Quercy, les eaux sont agressives à leur entrée sous terre; puis ils deviennent neutres et ne corrodent plus; par contre, elles reprennent leur agressivité à plus grande profondeur, pour diverses raisons (notamment la température et l'accroissement de la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère).

En ce qui concerne la possibilité de creusement au dessous de la surface de la nappe karstique, on ne peut la nier totalement; des réseaux à grandes cavités (exemple de la Fontaine de Vaucluse) ne sont pas en rapport avec des oscillations eustatiques et se sont seulement établis en profondeur, mais peut-être par érosion plus que par corrosion.

**KESSLER:** Korrosionsspuren unter dem Karstwasserniveau fanden wir bei unseren Tauchversuchen bei Tapolca in Ungarn 10 Meter unter dem Wasserspiegel. Bei den Wassereinbrüchen in den Kohlenbergwerken Ungarns wurden ca. 500 Meter unter dem Karstwasserspiegel Höhlen mit Korrosionsspuren freigelegt. Es ist natürlich möglich, daß sich die Höhlen zu einer Zeit bildeten, als diese Zone noch in der Höhe des Karstwasserniveaus war und daß sich im Tertiär die ausgebildeten Höhlensysteme mit der sie umgebenden Kalkscholle senkten.

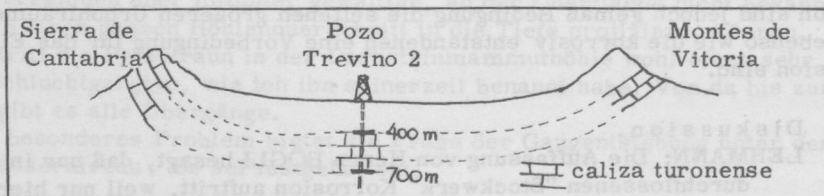
**CORBEL:** Il faut remplacer la vieille distinction: zone vadose - zone phréatique séparé par une surface théorique, par trois zones de haut en bas:

- écoulement libre
- écoulement siphonnant (profondeur inférieur à la hauteur de pression de la zone supérieure)
- écoulement vraiment phréatique.

Il est certain que dans cette dernière zone le creusement par dissolution est des plus réduits. Les grandes cavités se forment dans les zones supérieures à écoulement rapide.

**ERASO:** Ejemplo de gran contenido en  $\text{CO}_2$  de aguas cársticas: En los pozos petrolíferos de Treviño 2 y 3 (Alava, España) se atravesaron horizontes entre 400 y 700 m bajo la superficie, en los que se emplazaba una capa de agua que al ser atravesada y surgir al exterior, dio un contenido en  $\text{CO}_2$  superior a 1000 mg/l. El asfalto a la vista era tal como el clásico sifón para mezclar en una bebida alcohólica. - La formación atravesada era turonense calizo. No hay análisis del contenido en  $\text{HCO}_3^-$ . La región no tiene ninguna manifestación o huella volcánica.

Exquema:



**BÖGLI:** Die Höhlengänge unter dem Niveau des Karstwasserspiegels, wie sie Prof. GEZE und andere nannten, z.B. der Zufluß der Vaucluse, könnten eventuell wesentlich älter sein als Quartär. Es ist auch möglich, daß auf Klüften Wasser schnell zirkuliert, und zwar so schnell, daß erosive Erweiterung möglich ist. Untersuchungen in dieser Richtung dürften jedoch sehr schwierig sein. Wenn im Vortrage von einem Karstwasserspiegel die Rede ist, so muß festgehalten werden, daß es für jeden unterirdischen Wasserlauf ein eigenes permanentes Karstwasserniveau gibt.

Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology  
SEKTION I

---

Jacques CHOPPY

## NAPPE ET CONDUITS KARSTIQUES

Dans la craie de la forêt d'Othe (Département de l'Yonne), Monsieur Claude MÉGNIEN montrait récemment l'existence simultanée d'une nappe phréatique et d'écoulements en conduits. Monsieur Bernard GÈZE, commentant cette étude, envisageait d'en étendre le champ d'application à quelques cas particuliers, dans le calcaire.

Ce sont là mes points de départ pour une hypothèse générale qu'il serait facile de prétendre étayer par des exemples.

J'appelle nappe karstique une nappe de fissures se développant dans une roche soluble; ses caractères seront bien particuliers:

En dessous d'une certaine surface dite "d'équilibre" en rapports avec le niveau de base général (A. BONTÉ), il n'y a, en principe, aucune circulation, donc pas de dissolution.

Au dessus de cette surface d'équilibre, la dissolution élargit les fissures; certaines, où la circulation est lente, vont se bourrer de limons argileux; d'autres, où l'écoulement est rapide, se transforment en conduits, dont l'existence accélère encore la circulation; la surface de la nappe s'en trouve abaissée, car son niveau dépend des débits du conduit et de la nappe, entre lesquels existe une interaction que l'on peut schématiser de la façon suivante:

1<sup>o</sup> temps: Les variations du niveau de la nappe ne dépendent guère de l'existence de conduits encore minuscules; en particulier, lorsque l'eau se trouve en nappe au dessus de lui, le conduit est incapable de l'évacuer totalement.

2<sup>o</sup> temps: Le conduit s'élargit et permet cette évacuation, sauf crues exceptionnelles: en pratique, le niveau de la nappe ne dépasse plus celui du conduit.

3<sup>o</sup> temps: Très souvent, la nappe, drainée par ailleurs, n'atteint plus le conduit dans lequel un écoulement suspendu, parfois de plusieurs centaines de mètres, subsiste longtemps, confisquant une partie de l'alimentation de la nappe. Il arrive même que deux cours actifs (l'un d'eux peut être une rivière de surface) passent l'un sous l'autre.

A ce stade, la circulation de la nappe est facile, dans des fissures et conduits formant un système de "vases communicants", mais dont le volume total est générale-

ment faible. La surface de la nappe est très aplatie (pente de 1 pour 1000 par exemple); son niveau peut être imposé de façon durable par une mer, une rivière; souvent la plus importante de celles qui longent ou pénètrent le massif calcaire, par le point le plus bas du bord d'une cuvette imperméable contenant du calcaire (karst barré); c'est ce qu'il faut nommer le niveau de base. Mais on connaît des conduits qui se prolongent en dessous; beaucoup furent creusés alors que le niveau de base était moins élevé qu'actuellement; toutefois, il n'y a aucune objection de principe à ce qu'il y ait cavernement sous le niveau de base et même, exceptionnellement, sous la surface d'équilibre, puis= qu'on possède des preuves de circulations karstiques sous le niveau de base général.

Lorsque les bancs calcaires ont une pente supérieure à celle que peut avoir la surface de la nappe, celle-ci n'occupe guère que le volume compris sous un niveau de base; la nappe subsiste aussi dans des cas particuliers, dans la craie, par exemple; mais elle s'est étendu partout, et presque toujours assez longtemps pour permettre le modelé d'un relief "normal", car l'élargissement des fissures par corrosion est très lent au début.

On comprend ainsi que les spéléologues aient souvent constaté "l'absence de nappe dans les calcaires"; il subsiste toutefois, à la base du calcaire, si celui-ci repose sur un terrain perméable contenant une nappe, ou sur un imperméable, une "zone noyée" (J.C.VIJIC) sur une épaisseur qui tend à devenir très faible. Cette zone noyée fut, trop souvent, comprise comme un "niveau de base karstique".

Il ne faut pas croire que l'élargissement des fissures par corrosion soit uni= forme; en effet, tant qu'il n'y a pas écoulement libre, on peut dire de façon générale que débit et cavernement réagissent l'un sur l'autre en une véritable réaction en chaîne. C'est ainsi que, dans la craie, les fissures sont généralement plus élargies sous les vallées que sous les plateaux.

C'est la "corrosion phréatique" décrite par les auteurs anglo-saxons, qui mo= dèle ces zones de fissures élargies que l'on nomme parfois "réseaux de fentes"; non qu'elles en aient l'exclusivité, puisque ce mode de creusement se manifeste dans les zones habituellement noyées des rivières souterraines, à condition que la vitesse de l'eau ne soit pas trop grande; mais ce n'est que dans les réseaux de fentes que le phénomène est absolument général. Il ne faut pas perdre de vue, d'autre part, qu'un tel réseau tend à évoluer, en particulier grâce au phénomène de l'éboulis-dissolution, vers des formes pénétrables, où peuvent même se rencontrer des marques d'érosion.

Deux régimes hydrauliques sont donc possibles dans le calcaire, qui se di= stinguent en particulier par des mises en charge de rapidité et d'amplitude bien diverses.

A chacun correspond une morphologie: aux formes "phréatiques" s'oppose en effet le réseau de conduits, avec écoulements libres et conduites forcées, décrit en par= ticulier par les français.

#### BIBLIOGRAPHIE:

- 1) BONTÉ A., 1958. - Sur divers aspects de la circulation des eaux souterraines. Appli= cation à la recherche de l'eau dans les calcaires. - Ass. de la Soc. Géol. du Nord, LXXVIII, Séance du 5/11/1958, 183-198.
- 2) CVIJIC J., 1918. - Hydrographie souterraine et évolution morphologique. - Rev. de Géogr. Alpine, t. VI, fasc. IV, 375 - 426.
- 3) GÈZE B., 1961. - Sur les rapports entre les phénomènes karstiques et les nappes d'eau dans les calcaires, d'après quelques travaux récents. - Spelunca, 4<sup>e</sup> série, mémoires No.1, 22 - 24.
- 4) MÉGNIEN C., 1959. - Le karst et la nappe dans la craie turonienne et sénonienne du bassin de la Vanne (Yonne). Bull. Soc. Géol. Fr., 7<sup>e</sup> série, t.1, no.5, 456 - 460.



## Diskussion.

CORBEL: Il faut distinguer a) karst au dessus de l'écoulement

b) karst partielle au dessous de l'écoulement (zone siphonante)

c) karst avec zone phréatique vraie au dessous de la zone siphonante (comme en Belgique).

WARWICK: In England and Wales, the structure is a little more complex than M.

CORBEL has indicated. In the Peak District and in Yorkshire the limestone is surrounded on three sides by impervious rocks, higher than the surrounding lowlands. Here the water table "zone" is controlled by the rivers which flow in the main valleys. In the Mendips this situation is altered by the removal of the impounding rocks and now all of the major valleys are dry and springs arise at the junction of the limestone and the impervious rocks. Fuller details were given in my paper read at Bari, now in course of publication.

DUBOIS: Lorsque le calcaire descend sous le niveau de base local il peut exister une nappe de type définie par J. CHOPPY lorsque le karst a eu une évolution assez longue qui a permis un creusement important d'un réseau de fissures. Ceci s'oppose au cas no. 2 que vient de définir M. CORBEL, néant la possibilité d'une nappe dans ce cas.

BONNET: Le dogger du Bassin de Paris est mis en charge sur ses bordures. Des sondages pétroliers ont mis en évidence un réseau de fissures noyées 1 600 m au dessous du niveau de la mer (niveau de base). Ce dispositif représente le cas général et initial de tout karst. Les autres types de karst (perché ou semipérché) sont des cas particuliers séniles dus au troncement d'une masse calcaire initialement continue - c'est le karst situé au dessus du niveau de base qui est connu des spéléologues parce que généralement accessible, alors que le karst de fissures noyées (où une circulation infiniment plus lente peut exister) est moins connu.

CHOPPY: Je pense qu'il ne faut pas donner pour le "niveau de base karstique" une définition morphologique: on serait amené à donner à ce niveau de base dans le Dogger du Bassin de Paris une cote de -1800 m sous la surface du sol. Cette définition doit être hydraulique.

Il existe des cavités "phréatiques" dans les karsts alpins; en effet il y en a plusieurs dans le massif du Vercors.





Jean CORBEL

## VITESSE D'ÉROSION ET FORMATION DES GROTTES.

### METHODE DE MESURE.

Pour connaître l'importance numérique de l'érosion, il suffit de connaître la hauteur d'eau écoulée annuellement (on peut la déduire de la hauteur des pluies et de la valeur moyenne des déperditions dans la région, cette déperdition étant très peu variable en une zone donnée), et la teneur moyenne en produits dissous (ou transportés mécaniquement) en mg/l. Si M est l'érosion moyenne en  $m^3/an/km^2$ , ou en mm/1000 ans, E la hauteur d'eau écoulée en dm et T la teneur moyenne en mg/l, on a:

$$M = \frac{4 \cdot E \cdot T}{100}$$

De toutes façons on ne cherche ainsi qu'un ordre de grandeur du phénomène mais cet ordre de grandeur présente en lui-même un grand intérêt.

### ACTION MÉCANIQUE ET DISSOLUTION.

Le transport mécanique (si dominant pour les sables des granits par exemple), est peu important dans les grottes. Hors des régions à hiver froid il est pratiquement nul. Dans les régions où existent des températures négatives, la gélivation peut arracher des fragments des parois. Ce phénomène est surtout important à l'extérieur où les variations de température, la pénétration du froid sont plus sensible. La blocaille ainsi libérée peut être entraînée dans la grotte par des eaux venant de l'extérieur. Les galets calcaires sont rapidement dissouts dans les eaux froides. Pour le transport définitif du  $CO_3Ca$  hors des grottes, hors du massif calcaire, seule la dissolution joue vraiment un rôle. La part qui lui revient oscille entre 80 et 99 et même 100%.

Les seuls grands cas de grottes à bancs importants de galets calcaires régulièrement déplacés aux crues semblent se trouver dans des zones ayant hérité des climats froids quaternaires, des masses de débris mais ayant actuellement un climat plus chaud et plus sec, de type méditerranéen ou tropical par exemple. Dans les grottes du Karst près de Postojna, les calcaires d'un banc donné disparaissent complètement après 1000 m de parcours, mais il faut peut-être plusieurs années de crues pour qu'ils puissent parcourir ces 1000 m.

Les galets insoluble (en particulier les quartz et quartzites) ammenés depuis l'extérieur jouent aussi un rôle dans l'érosion mécanique des parois pouvant

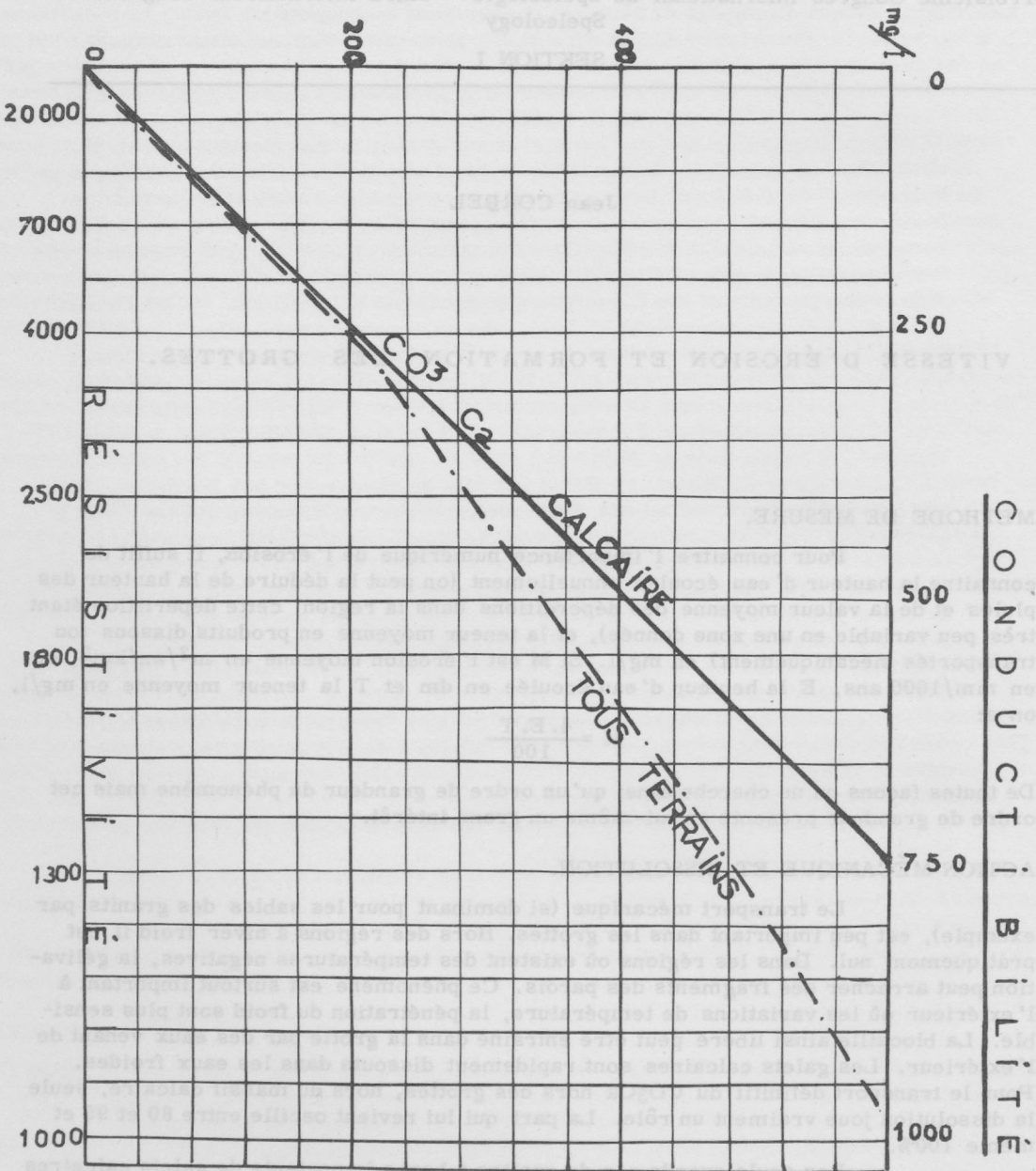


Fig. 1

soit polir, soit enlevés de mnus copeaux. Leur action globale restent faible si on la compare aux processus chimiques.

## DEUX TYPES DE GROTTES ACTIVES.

On appelle grotte active toute cavité parcouru par un cours d'eau. Grotte à rivière indigène. Une rivière indigène est une rivière formée dans le massif calcaire lui-même. L'existence de tels cours d'eau, surtout s'ils sont importants témoigne qu'il s'agit d'un karst très actif. C'est le cas par exemple de la Chartreuse (Trou du Glaz) ou du Vercors Septentrional. Ce cas de grotte est assez rare.

Grotte à rivière exogène. Les grottes sont parcourues par des rivières formées hors de la région calcaire ou, en surface, sur une couverture imperméable (exemples: rivières des grottes-tunnels du Mexique, du Tonkin, de la Jamaïque...) C'est le signe de karst moins actif que les précédents.

Grotte à rivière mixte. La rivière souterraine prend naissance à l'extérieur mais est grossi pour la moitié au moins par des affluents dans le karst lui-même. C'est un cas très fréquent dans les Alpes et en Laponie (exemples: la Luire, grotte de Svartisen en Laponie).

## TECHNIQUES DE MÉSURES.

Nous étudierons plus spécialement, le calcul de E et une méthode de mesure de T.

Si Pr. est la moyenne annuelle des précipitations et Dp. la déperdition, on a:  $E = Pr - Dp$ .

Les précipitations moyennes annuelles en Europe ont des écarts maximum de l'ordre de 25% (plus faible à l'Ouest, plus fort à l'Est). On peut assez facilement connaître pour une région européenne la valeur des précipitations durant la ou les années où l'on a fait ses mesures d'érosion, pour éliminer la variabilité de Pr. Pour Dp, infiniment moins variable, surtout si l'on considère seulement le nombre de dm, voici quelques valeurs moyennes types:

Régions température annuelle inférieure à 0°	Dp = 0,1 à 0,5 dm
Température comprise entre +3° et +5°	Dp = 2 à 3 dm
Bassin de la Tamise	Dp = 4,90 dm
Bassin de la Meuse	Dp = 4,93 dm
Bassin de la Seine	Dp = 4,84 dm
Bassin de la Saône	Dp = 5,18 dm
Bassin de la Durance (France du Sud)	Dp = 5,45 dm
Bassin du Panaro (Italie)	Dp = 5,59 dm
Moyenne Sardaigne	Dp = 5,49 dm
Montagnes Europe moyenne, Isère	Dp = 4,00 dm
Dniestr	Dp = 4,41 dm

Pour mesurer la teneur en produits dissouts, on a appliqué long temps uniquement la méthode chimique qui donne d'excellent résultat mais est lente et peu pratique sur le terrain. Les méthodes électriques donnent actuellement d'excellents résultats, sont très rapides et facilement applicable sur le terrain même sans transport à distance. Une eau est d'autant meilleur conductrice de l'électricité qu'elle est plus riche en matière dissouts. Sa résistivité est d'autant plus grande qu'elle est plus pure. On peut donc utiliser deux sortes de mesures: la conductibilité ou son inverse, la résistivité. La conductibilité est donné en 1/100 000 mho-cm. La conductibilité de l'eau représente la somme des conductivités spécifiques de chacun des sels. Elle varie avec la température. Aussi utilise-t-on une température standard, dans notre graphique nous avons utilisé celle de 25° C. Pour

20°, il faut multiplier la conductivité par 0,94, la résistivité par 1,06. Pour 10°, il faut multiplier respectivement par 0,71 et 1,40, pour 0° par 0,51 et 1,96.

Dans une région composée en majorité de calcaire, les sels dissous (en mg/l de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) correspondant à une conductibilité K à 20° peuvent être calculés par la formule (courbe  $\text{CO}_3\text{Ca}$ -calcaire du graphique):

$$0,730 K + 15.$$

Pour l'ensemble des sels dissous le classique "Livre de l'Eau" indique: 0,720 K(18°).

Partant des dizaines de milliers d'analyses chimiques complètes (avec également la conductibilité à 25°) faites par les Services Américains d'analyses d'eau pour toutes les rivières des U.S.A. en toutes saisons, nous avons tracé la courbe "tous terrains" de notre graphique. Les écarts sont étonnamment faibles. On remarque que jusqu'au delà de 200 mg/l (c'est-à-dire pour la majorité des analyses), l'écart avec les courbes calculées du calcaire ou de 0,720 K (18°) est insignifiant. Pour toutes ces eaux les calcaires forment la majorité des sels dissous. Au-delà de 300 mg/l les écarts deviennent importants. Ce sont là des eaux de régions sèches ayant en particulier des sulfates dont la conductibilité est différente de celle des carbonates. En terrain calcaire, pour les karsts, il n'y a pas de limites supérieures d'emploi.

On peut utiliser les résistivimètres de terrain en grotte pour la masse des mesures (2 à 3 minutes par mesure) en vérifiant de temps à autres par des mesures chimiques classiques.

## FORMATION DES GROTTES ET CLIMATS.

Voici d'abord les régions froides. Dans les régions au sous-sol complètement gelé (permafrost) il n'y a pas de grotte, seulement et très rarement quelques cavités pleines de glace. Lorsque le gel profond devient sporadique dans le temps et dans l'espace, les grottes se multiplient.

La température profonde d'une grotte est, en gros, égale à la température moyenne des entrées. Ce sont par des températures moyennes annuelles légèrement inférieures à 0° C que le permafrost disparaît. Divers phénomènes viennent alors activer prodigieusement la dissolution du calcaire et la formation des grottes. L'évaporation dans ces zones froides (température moyenne inférieure à +6°) est très faible, la hauteur d'eau écoulée est donc, à précipitations égales beaucoup plus fortes qu'en région tempérée ou chaude. Les eaux de fonte des neiges qui jouent un rôle important sont très agressives. Parce que froide elles sont très chargées en  $\text{CO}_2$  (d'autant que la neige est un véritable peige à  $\text{CO}_2$ ). Elles sont de 20 à 30 fois plus dissolvantes que les eaux de pluie des régions plus chaudes. Ce sont des eaux très stables, leur pH varie très peu. Les eaux dissolvent assez lentement (il faut parfois plus d'une journée aux eaux pour être saturée de calcaire) mais elles ne redéposent pas leurs calcaires comme les eaux chaudes.

Pour des précipitations relativement faible (400 mm) en Alaska Central l'érosion des calcaires dans la Haute-Tarana enlève  $40 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ . Dans l'Alaska humide comme dans la Laponie neigeuse on a localement des valeurs de plus de 200 voir  $500 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ . Dans ces zones hyperneigeuses arctiques (ou Chilienne) la dissolution est si forte que les zones calcaires sont mises en creux. On a cependant de grandes grottes pratiquement sans concrétions. Les grands gouffres de l'Aven Berger, de Glaz, de la Pierre Saint-Martin etc... sont tous dans des régions très neigeuses. La région de la plus longue grotte du monde, le Hölloch, a aussi beaucoup de neige. Voici son érosion ( $E = 33 \text{ dm}$  d'après les débits des sources)  $T = 100 \text{ mg/l}$  (A. BÖGLI).

$$M = \frac{4 \cdot 33 \cdot 100}{100} = 132 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}.$$

Dans les régions tempérées, la plupart des grandes grottes ont été creusée lors des périodes plus froides et plus humides du Quaternaire. Elles peu-

vent être revivifiée par le passage de cours d'eau exogènes quaternaire. C'est le cas pour les régions méditerranéennes et aussi à un degré moindre de régions très océanique comme l'Irlande.

Dans les régions chaudes, la déperdition des eaux devient égale norme, 1200 mm en Floride, plus de 1500 mm dans les zones intertropicales. Ce sont des eaux instables à pH très variable. Elles peuvent dissoudre rapidement une certaine quantité de calcaire mais elles la redéposent aussi vite. Les concrétions obstruent rapidement les grottes. En définitive les eaux n'emportent que des quantités médiocres de calcaire. Dans le bassin de la Kissimmee, l'érosion n'est que de  $5 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ . Dans les régions à grottes de Cuba, les précipitations sont de 1500 mm (écoulement ca. 2 dm). Dans le bassin du Rio San Vicente (H. LEHMANN) la teneur moyenne est de 145 mg/l. On a:

$$M = \frac{4.2.145}{100} = 11,2 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}.$$

La bordure des régions calcaires est marqué par un escarpement des calcaires dominant les roches cristallines par exemple abaissé par rapport aux calcaires. Les cours d'eau exogène pénètrent parfois dans le calcaire par des tunnels, seules grandes cavités de ces régions.

Dans les régions chaudes arides, ce sont également des tunnels que l'on rencontre. Venues des hauteurs humides les cours d'eau souterrain traversent les zones désertiques par des conduits isolés, sorte de Nil souterrain, sans affluent, vaste couloirs monotones qu'envahissent peu à peu les concrétions, surtout les dépôts de gypse et d'aragonite si caractéristiques de ces régions chaudes et sèches où l'évaporation est intense.

Les grandes cavités se rencontrent là où l'on a d'une part une masse de calcaire importante (ce qui pour des raisons paléogéographiques est surtout le fait des zones au sud du  $45^\circ \text{lat.}$ ), d'autre part une érosion importante lié aux forts ruissellements et à l'agressivité des eaux des climats froids.

The problem becomes real when one attempts to treat caves and cave populations quantitatively. The present remarks arise from the author's earlier articles on the statistical properties of cave populations (3, 2) where the concept of "a cave" had been assumed to correspond to some physical entity which could be measured in various ways. Further consideration has clarified some of the problems involved in doing this. For example, how long is a cave? An initial difficulty is applying a linear measure within a three-dimensional complex, but more critical is the problem of placing the boundaries, since in any system of subterranean openings the distance which may be penetrated (any from some given fixed point) depends upon the size of the explorer. We know a certain population of caves, but an ant, or an elephant, if they were interested, would have much different views of the number, extent, and accessibility of "caves". Since there is apparently nothing unique about "cave size", we must presume that our definition of a cave is at least this one source arbitrary. A similar problem is associated with counting cave entrances.

Careful consideration of these difficulties leads to some frustration arising from the attempt to apply a single linear measure, based on a minimum dimension, to a three-dimensional volume, or a unit counting procedure to the complex interconnection of the surface and cave system. It is therefore essential to make our procedures more sophisticated. However before turning to this, observe that our present techniques do appear to have quantitative significance despite their element of arbitrariness. This self-consistency is demonstrated in the earlier work where, first, it was shown that the volume and length distributions of cave populations conform quite well to a simple stochastic model and, second, that the development of a cave population, selected on the basis of an "explorer" the size of a human, can be followed as a type of its length distribution.





Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress  
Speleology  
SEKTION I

---

Rane L. CURL

ON THE DEFINITION OF A CAVE.

It is usually neither necessary nor useful to be concerned about the definition of the word cave, as its meaning is commonly understood. Reference to any subterranean opening usually suffices although distinctions based on the nature of the enclosing rock, the contents, or the origin and morphology may also be desired. However that there is a basic problem is illustrated by the comments of HOWARD (1) who, in defining the term "cave", writes: "any crevice or crevice system which fortuitously conforms to a number of poorly designated and meaningless restrictions pertaining to the size, length, availability, and nature of the opening. Thus the use of this term will be limited to its occurrence as a proper noun".

The problem becomes real when one attempts to treat caves and cave populations quantitatively. The present remarks arise from the author's earlier articles on the statistical properties of cave populations (3, 2) where the concept of "a cave" had been assumed to correspond to some physical entity which could be measured in various ways. Further consideration has clarified some of the problems involved in doing this. For example, how long is a cave? An initial difficulty is applying a linear measure within a three dimensional complex, but more critical is the problem of placing the boundaries, since in any system of subterranean openings the distance which may be penetrated (say from some given fixed point) depends upon the size of the explorer. We know a certain population of caves, but an ant, or an elephant, if they were interested, would have much different views of the number, extent, and accessibility of "caves". Since there is apparently nothing unique about "man size", we must presume that our definition of a cave is in at least this one sense arbitrary. A similar problem is associated with counting cave entrances.

Careful consideration of either of these difficulties leads to some frustration arising from the attempt to apply a single linear measure, based on a minimum dimension, to a three dimensional volume, or a unit counting procedure to the complex intersection of the surface and cave system. It is therefore essential to make our procedures more sophisticated. However before turning to this, observe that our present techniques do appear to have quantitative significance despite their element of arbitrariness. This self consistency is demonstrated in the earlier work where, first, it was shown that the entrance and length distributions of cave populations conform quite well to a simple stochastic model and, second, that the development of a cave population, selected on the basis of an "explorer" the size of a human, can be followed in terms of its length distribution.

bution. While it should be recognized that it is not possible to speak definitively about the length of a cave, its number of entrances, and other properties, the usefulness of the concepts must also not escape us. Therefore we must clarify the nature of the measures we now use. It is the purpose here to propose refined definitions for the basic terms cave, cave length and cave entrance which are consistent with our intuitive concepts but which can also provide a basis for quantitative studies of individual caves or cave populations.

## DEFINITIONS.

### Cave

A standard explorer is a sphere of diameter  $m$ .

A cave is defined as all that subterranean volume which can be traversed continuously by a standard explorer of diameter  $m$  such that, at any given location, motion of the standard explorer vertically (along the gravitational potential gradient) in either direction would cause it to touch solid matter. This last restriction defines the cave near its entrance. A cave so defined will be spoken of as having the module  $m$ .

By this definitions a cave is a particular volume contained within the actual subterranean opening which is in contact with the walls of the opening at only some points. Only in the limit of the module approaching zero is a cave as here defines coincident with the subterranean opening. On the other hand as the module is made larger any given subterranean opening might well be divided into a greater number of caves.

When the module is equal to about the size of a human explorer the group or set of caves existing according to the above definition will be called proper caves because these caves usually have proper names if they have been entered. This module will consequently be called a proper module. Because a human explorer is not a standard explorer the set of proper caves does not quite correspond with the set of caves which have been entered, but unless the difference is shown to be significant, the definition will be adopted for the sake of its precision. It should be clear that there can be no absolute dividing line between caves and proper caves as the choice of the proper module is largely arbitrary. However, as will be discussed shortly, certain natural subdivisions may exist.

### Length

Let a standard explorer move through a cave in such a way that it is everywhere of its largest possible diameter, though never less than the selected module. The plan length of the cave will be defined as the horizontal projection of the path taken by the center of the sphere. The choice of a length designation, so several other types of length could well be defined. Depth may of course be found from a projection on a vertical surface. Likewise the vector nature of length could be illustrated in a three dimensional diagram. In any event the suggested procedure yields a single plan (or other) length for any cave which conforms to the usual methods of length description.

A proper plan length is the plan length as determined by using a proper module.

### Entrance

A cave entrance of module zero is a vertical surface which is bounded by contact with solid matter at the low edge and by a tangency with solid matter at its-highest upper edge, and which intersects a cave ( $m$  not equal to zero) such as defined previously. Physically, this is the "surface" dividing the space through which rain might naturally fall, from the space through which it would not fall, during a vertical rainstorm. Again the direction of the gradient of the gravitational potential should be

used in an exact statement, but is replaced in the above by the word "vertical".

A cave entrance of module  $m$  is all that portion of this surface through which a standard explorer of size  $m$  may pass. Oblique passage is allowable. The size of the entrance is the size of the largest standard explorer which may pass. Of course other descriptions would have to be added if a idea of shape were to be communicated.

By these definitions a cave entrance is always a vertical surface which in addition can lie partly within a cave, as defined, when the module of the cave is not equal to zero. Only the set of all caves which module zero have their entrances coincident with boundary planes.

A proper entrance is an entrance through which a proper module may completely pass. Consequently a proper cave may have no entrances, entrances but no proper entrances, both, or only proper entrances, depending on the cave and the modules selected.

The number of entrances of module  $m$  is the number of separate entrances which intersect the same cave of, perhaps, a different module.

It may first seem rather arbitrary to test the set of all caves and entrances, (module zero) with modules for the cave and for the entrances, as there does not seem to be anything special about particular modules. However since this practice not only is, but must be followed, men being the size they are, the procedures suggested here conform to our experience and make it quantitative. Of course these exact procedures were not applied in the earlier work referred to above. However in the present terminology the earlier work concerned itself with the proper length and proper entrance distributions of a proper cave population. That this particular selection of caves from the set of all caves should exhibit striking correlations must be considered quite remarkable.

## CAVERNS, "CAVES", CREVICES, ETC.

Does the set of proper caves have boundaries or does it exist only according to the module of the observer? This question may be posed in terms of these new definitions by asking whether the set of all caves is divided naturally into subsets, according to different ranges of the module. Consider a plot of the sum of the plan length of all caves versus the module  $m$ . The plot is, of course, monotonic. Is its derivative also monotonic? At least two alternatives may be distinguished. In Figure 1 are plotted two curves, one of which exhibits what might be called plateaus and the other not. The derivative of the summed plan lengths with respect to  $m$  is plotted in Figure 2. If the actual situation is that shown by curve a it must be concluded that caves are not, by this test, naturally divided into types. However if the situation is that shown by curve b, the minimums in Figure 2 could conceivably be identified as types. The actual case is not now known and a great deal of new information would be required to determine this. However if there does exist a rough division of the set of all caves into subsets designated by I, II and III in Figure 2, then there may be a correspondence between these subsets and our intuitive concepts of proper caves or larger or smaller subterranean openings. For example, it may be possible to distinguish, in order of decreasing size, caverns, ordinary caves, crevices, fissures, joints, pores, etc., as  $m$  is varied.

Naturally there may be better measures upon which to base a division of cave types and this one is only suggested because of its possible relation to the already demonstrated order in the distribution of proper cave lengths.



TOTAL LENGTH

Module, m

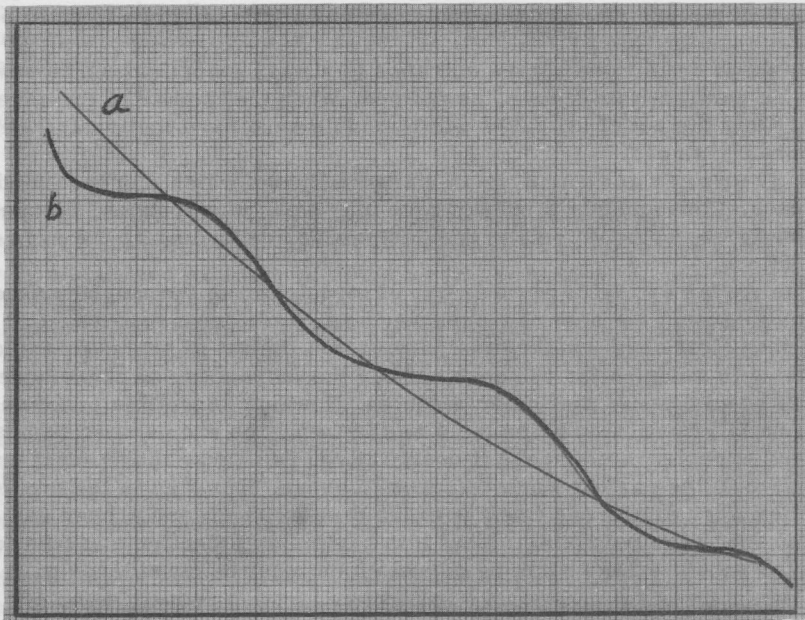


Figure 1, Length of all Caves vs Module

DERIVATIVE OF TOTAL LENGTH

Module, m

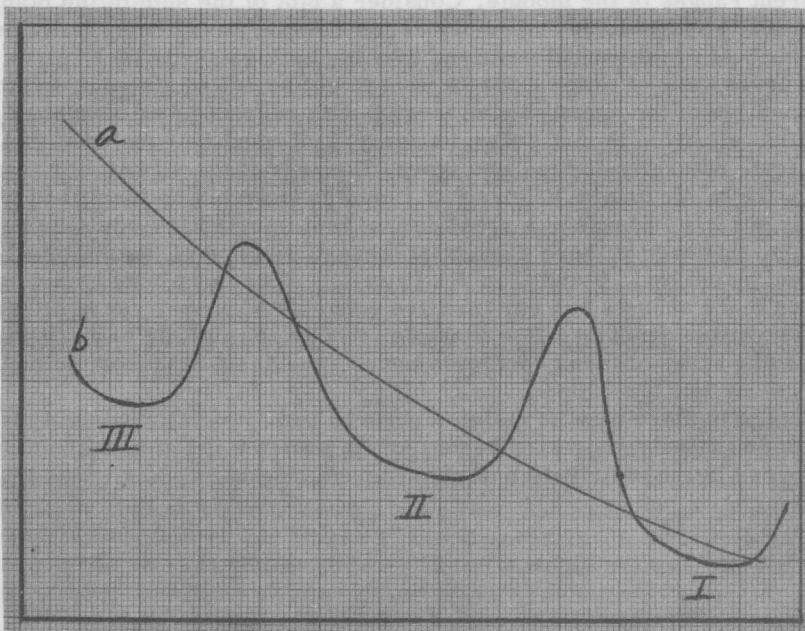


Figure 2, Natural Grouping of Caves by Module



## CONCLUSIONS.

There has been a need for a unique definition of cave, cave length, and cave entrance for purposes of both description and for quantitative manipulations. It is proposed here to define these in terms of a standard explorer which is a sphere of diameter  $m$ . The subset of caves which have been under study for some time because of their accessibility may be clearly limited subset but whether this is so or not will require further research. However in order to point out the fact that these caves have been implicitly selected by the human dimensions, they are termed proper caves, their measured length called the proper length, and the known entrances designated as proper entrances.

## REFERENCES.

1. HOWARD A.D., Geology and Origin of the Crevice Caves of the Iowa, Illinois and Wisconsin Lead-Zinc District. J. Yale Speleo. Soc., 2 (4) pp 61-95, 1960.
2. CURL R.L., A Statistical Theory of Cave Entrance Evolution, Bull. Nat. Speleo. Soc., 20, pp. 9-22, 1958.
3. CURL R.L., Stochastic Models of Cavern Development, Bull. Nat. Speleo. Soc. 22, (1), pp. 66 -76, 1960.



Camille EK

## LES PHASES SUCCESSIVES DE L'EVOLUTION DE CERTAINS CONDUITS VADOSES

Le Condroz et ses abords forment la région belge la plus riche en cavités karstiques. Celles-ci sont de types très variés. Certaines, en particulier, se caractérisent par leur forme de long couloir subhorizontal, en pente très faible vers la surface, qui se trouve toujours au flanc d'une vallée assez importante; ces cavités ne comportent en général pas de grandes salles. La figure 1. montre une telle cavité de dimensions très modestes, mais d'aspect caractéristique.

L'objet de cette note est de rendre compte - très sommairement - des processus de formation de ces grottes, en particulier durant la période vadose <sup>1)</sup> de leur existence.

### 1) LES PREMIERS STADES.

L'important encaissement des rivières de haute Belgique au cours du Pléistocène a évidemment provoqué un abaissement concomitant de la surface piézométrique.

L'eau vadose a dès lors pu circuler dans des conduits phréatiques préexistants.

Ces conduits se présentent - mais rarement - comme de fines canalisations, de pente variable, suivant un plan de stratification ou de diaclase; le plus souvent, c'est sous la forme de fissures assez hautes mais très étroites qu'on les observe cependant, dans les joints de stratification ou des diaclases.

C'est donc sous des aspects variés que se montrent les premiers passages de l'eau vadose.

---

<sup>1)</sup> L'adjectif vadose fut appliqué par MEINZER en 1923 à l'eau se trouvant au-dessus de la surface piézométrique ("water that is in the zone of aeration and therefore usually on its way down from the land surface to the zone of saturation"). S'appliquant originellement à l'eau même, le terme vadose s'emploie maintenant aussi, elliptiquement, pour désigner les phénomènes se passant dans cette eau et la période de son existence qu'une cavité (p.ex.) passe dans la zone vadose.

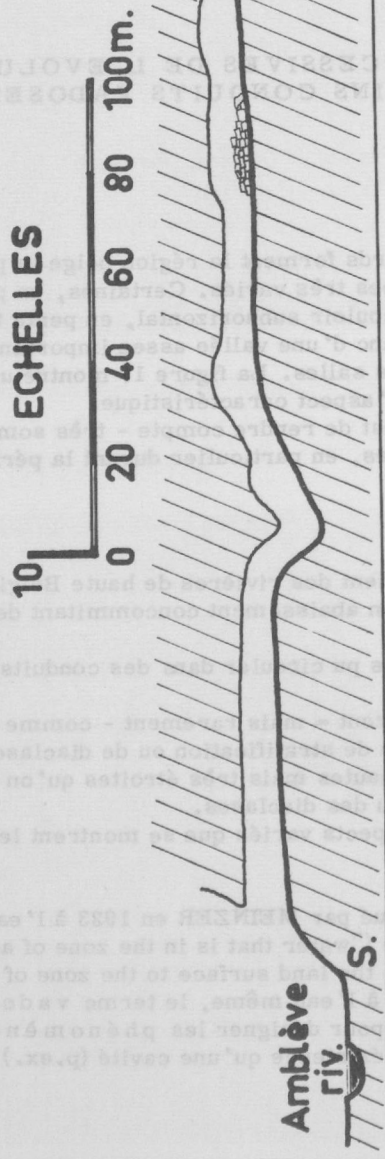


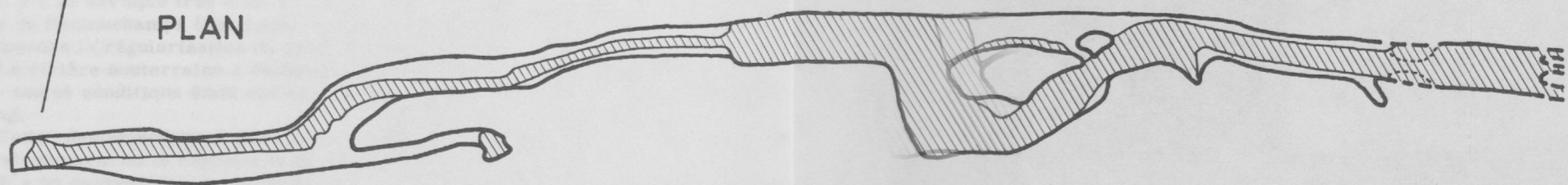
Figure 2.  
Coupe de la partie aval de l'étage moyen de la grotte de Remouchamps (Belgique).



# LA GROTTE DU PONT, A ESNEUX

N.

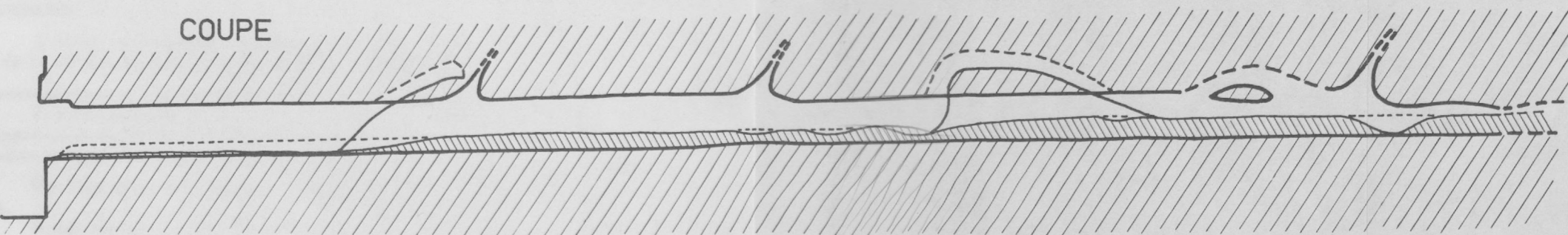
PLAN



0 4 8 12 16 20m.

dépôts meubles

COUPE







## 2) ELARGISSEMENT DES CONDUITS ET REGULARISATION DE LA PENTE.

Si certains des passages évoluent peu et restent de dimensions très modestes, d'autres au contraire prennent rapidement de l'importance; ceux qui aboutissent au niveau d'une plaine alluviale; ces conduits servent en effet d'exutoire aux eaux du massif; c'est par ces drains naturels que l'eau est collectée et amenée à la rivière.

Ces passages privilégiés fonctionnent en conduite forcée - mais par intermittence seulement, semble-t-il - et s'élargissent notablement. Mais cet élargissement même rend de plus en plus rare le fonctionnement à gueule bée et amène progressivement la prédominance d'un régime d'écoulement à pression normale; la cavité manifeste aussitôt une tendance à se développer suivant une pente faible et régulière vers la rivière.

Il faut remarquer à ce propos que les conduites forcées présentent déjà une pente moyenne faible; en outre, le stade de conduite forcée ne se manifeste pas là où la galerie se présente d'avance comme une fissure très élevée et suffisamment large, du fait d'actions phréatiques antérieures par exemple.

## 3) ETABLISSEMENT D'UN PROFIL D'EQUILIBRE.

Les vestiges de conduits sous pression, sous forme de siphons, freinent la régularisation du profil dans la partie du cours d'eau située plus en amont, en empêchant l'établissement d'un régime régulier.

Il y a un exemple très clair de ce fait dans l'étage moyen - maintenant à sec - de la grotte de Remouchamps (Belgique). Un grand siphon, situé non loin de la resurgence, a empêché la régularisation du profil en long (fig. 2).

La rivière souterraine a évidemment d'autant plus de chance de régulariser son cours - toutes conditions étant égales - que le temps dont elle dispose pour ce faire est plus long.

Cette régularisation s'opère par l'érosion, l'alluvionnement et, dans certains cas, le développement ou la régression de méandres.

Si à un moment donné, la rivière principale s'encaisse dans sa vallée (reprise d'érosion cyclique, p.ex.) le cours d'eau souterrain se trouve suspendu et cherche un passage inférieur. La tendance à l'établissement d'un profil d'équilibre s'arrête alors. Mais, si le cours d'eau hypogée a disposé d'un temps suffisamment long, c'est une galerie à pente très faible et très régulière, au fond tapissée d'alluvions, que le courant abandonne.

## CONCLUSIONS.

A partir de conduits originaux très divers, plusieurs cavités karstiques du bassin de la Meuse présentent une évolution semblable.

- 1° - Concentration de l'eau dans des conduits - en partie sous pression - qui l'amènent à la rivière principale
- 2° - Suppression des conduites forcées et des siphons
- 3° - Etablissement d'un profil d'équilibre entre l'érosion et l'alluvionnement.

Cet équilibre est analogue à l'équilibre qui se réalise dans les cours d'eau épiogées.

Aussi est-ce au plein sens du terme que l'on peut parler dans ces grottes de rivières souterraines.

## Diskussion.

**CORBEL:** Je pense à une interprétation climatique des karsts belges: 1) Longue évolution sous climat chaud - karst à fissure. - 2) Karst froid au quaternaire avec creusement du réseau vadose.

**LIEGEOIS:** J'entends souvent parler de karstification, genèse de grottes, nappes phréatiques, régions vadoses, zones siphonantes, etc.etc. Tous ces phénomènes se passent à des différences de niveaux de 100 à 150 m maximum, dans le karst en Belgique.

Le karst belge, par exemple dans le Condroz, intéresse seulement la partie supérieure de bassins qui descendent à 1000 m et plus dans les calcaires carbonifères ou dévoniens. - Là, on est certain qu'il y a des zones noyées en profondeur, avec peu de circulation et des fluctuations de niveau relativement faibles.

Dans des synclinaux descendant à -1500 m, on pompe des débits de 150 m<sup>3</sup> par heure pendant des années et on n'obtient qu'un rabattement de 40 m de la nappe aquifère.

Des sondages trouvent des diaclases ouvertes, des concrétions, des planchers stalagmitiques à des profondeurs de 200, 600 et 1000 m!

Quand la commission spéciale de terminologie examinera les questions telles que niveau hydrostatique, niveau de base, etc., il faudra qu'elle tienne compte de toutes ces situations.

**BÖGLI:** Höhlen in 1000 Meter Tiefe mit Tropfsteinen verlangen eine Bildung ohne Wasserfüllung, was bei der heutigen Lage unmöglich ist. Die in dieser Tiefe gefundene Höhle ist somit vor der Ardennenfaltung entstanden und ist damit ein Relikt. Man kann daher von einem versenkten Karst sprechen, der unter dem heutigen Karstwasserspiegel, d.h. unter der Zone dauernder Wassererfüllung der Klüfte liegt, doch unter normalen Bedingungen sich bildete.

**LIEGEOIS:** Je suis d'accord avec M. BÖGLI.

**EK:** Je répondrai tout d'abord à M. CORBEL. Les grottes tertiaires dont il nous parle sont en effet bien connues dans d'autres régions de la Belgique.

Mais, si ils ont existé à l'emplacement des grottes que j'ai décrites ici, qui sont situées entre 70 et 100 mètres d'altitude, ces conduits tertiaires étaient alors à plus de 100 m sous la surface du sol. Donc, phréatiques.

En ce qui concerne les développements de M. LIEGEOIS, je ne peux qu'approuver ses considérations et rappeler que les grottes ici étudiées, ne sont pas au Condroz, mais dans les formations frasniennes et givetiennes qui l'entourent.

Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology

SEKTION I

Adolfo ERASO

SOBRE LAS RELACIONES MORFO-QUIMICAS  
EN LA LITOGENESIS

INTRODUCCION.

Al abordar el estudio espeleogenético de una cavidad es frecuente que los diversos autores recurran con visión dinámica a las diversas morfologías que ésta presente (de erosión gravitacional o hidrostática, corrosión, procesos clásticos, etc.), para desentrañar su historia; más en lo tocante a los fenómenos litogenéticos las más de las veces se limitan a citarlos por su carácter fosilizante, tratando muy pocos de desentrañar el significado de sus complejas particularidades morfológicas.

Desde hace algún tiempo, mediante la realización de un elevado número de análisis (aún no concluida), el autor persigue la búsqueda de las condiciones precisas que definan cada forma litogenética. Es evidente que una vez conseguido esto, la espeleogénesis contará con una nueva herramienta en su haber.

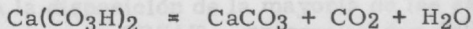
Las presentes líneas, constituyen un avance del fin anteriormente expuesto, no pudiendo ser las conclusiones, por esta circunstancia, todo lo precisas que debieran.

Agradezco a mis compañeros Jaime FARINA, Armando LLANOS, su colaboración en la consecución de determinadas fotografías y en los trabajos de gabinete.

En las recogidas de datos debo agradecer las gentilezas recibidas de los grupos espeleológicos de Vizcaya, Guipúzcoa, Burgos, Navarra, Alava y Roma (de estos tres últimos soy miembro activo), sin cuyas invitaciones muchos de ellos no hubieran podido realizarse.

FUNDAMENTOS.

El equilibrio básico que rige los procesos kársticos es globalmente:



y su importancia es tal, que un desplazamiento hacia la izquierda, en el sentido de formarse bicarbonato cálcico implicaría la disolución de la correspondiente cantidad de  $\text{CaCO}_3$  en ácido carbónico, creando formas de corrosión o decalcificación tan importantes en la creación de cavidades.

Por el contrario, si el desplazamiento sufrido es hacia la derecha, se deposita una cierta cantidad de  $\text{CaCO}_3$  a expensas de ceder a la atmósfera la correspondiente porción de  $\text{CO}_2$ . En estas condiciones ocurre el fenómeno de la litogénesis, fosilizante de las cavidades, y las morfologías derivadas son las que se tratarán de analizar.

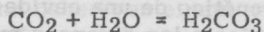
El equilibrio básico expresado, tiende espontáneamente a desplazarse hacia la derecha, ya que el correspondiente desprendimiento de  $\text{CO}_2$  supone la liberación de entropía suficiente para que condicione la disminución de la energía libre del sistema.

$$F = U - TS \quad \begin{array}{ll} F = \text{Energía libre} & T = \text{Temperatura} \\ U = \text{Energía interna} & S = \text{Entropía} \end{array}$$

y ya sabemos por termodinámica que la condición de equilibrio para un sistema a volumen y temperatura constante, es la mínima energía libre.

No obstante, la experiencia nos demuestra que no ocurre siempre así, por lo que debe existir una causa que perturbe el espontáneo desprendimiento de  $\text{CO}_2$  y correspondiente depósito de  $\text{CaCO}_3$ . Esta causa es la cantidad de  $\text{CO}_2$  existente ya en la atmósfera. Veamos porque: de las leyes de NERST y HENRY, sacamos en consecuencia que un gas tiende a repartirse entre dos fases (líquida y gaseosa) hasta llegar a equilibrio, el cual viene condicionado por el coeficiente de reparto que define las cantidades relativas existentes en cada fase, del gas inicial.

Gracias a poseer las cavidades un volumen finito y a ser el  $\text{CO}_2$  más denso que el aire, por ser mayor su peso molecular, existe una tendencia natural que rige la acumulación del  $\text{CO}_2$  en las cavidades. Este  $\text{CO}_2$ , se repartirá entre el agua existente, bien disuelto, bien combinado en forma de ácido carbónico:



y el aire, aumentando su contenido, viniendo su cuantía determinada por su presión parcial  $\text{PCO}_2$  (DALTON).

Por estas consideraciones, es fácil comprender que, en un recinto cerrado donde están ocurriendo litogénesis y acumulándose  $\text{CO}_2$  en el aire, llegue un momento en que no pueda ser depositado más  $\text{CaCO}_3$ , por ser la cantidad de  $\text{CO}_2$  del aire, la correspondiente a equilibrio con el ya existente en el aporte hídrico que hasta el momento era el responsable de la litogénesis.

Dado que en virtud de la ley de las proporciones definidas a cada valor de  $\text{CO}_2$  desprendido le corresponde biunívocamente un valor de  $\text{CaCO}_3$  fijo, es evidente que dadas las mismas condiciones para dos aportes hídricos causantes de litogénesis, depositará más cantidad de  $\text{CaCO}_3$  el que de ellos posea mayor caudal.

Resumiendo, nos hallamos ante dos variables que influyan en la litogénesis:

- 1) La dificultad de cesión de  $\text{CO}_2$  al aire que será tanto mayor cuanto mayor sea el caudal del aporte hídrico considerado.
- 2) La cantidad de  $\text{CaCO}_3$  a depositar que será tanto mayor cuanto mayor sea el caudal del aporte hídrico considerado.

Mediante razonamientos cualitativos, MONTORIOL dedujo la existencia de seis formas simples que vienen resumidas en la fig. 1 en cuatro posibles combinaciones de existencia:

- |   |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|
| 1 | ESTALAGMITA MIXTA     | -----                 |
| 2 | ESTALAGMITA DE CAUDAL | ESTALACTITA CLIMÁTICA |
| 3 | ESTALAGMITA CLIMÁTICA | ESTALACTITA DE CAUDAL |
| 4 | -----                 | ESTALACTITA MIXTA     |

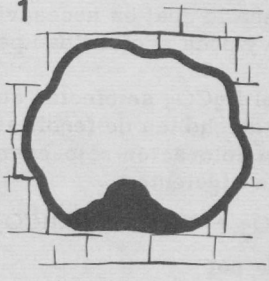
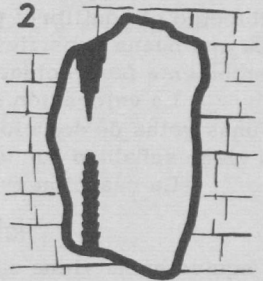
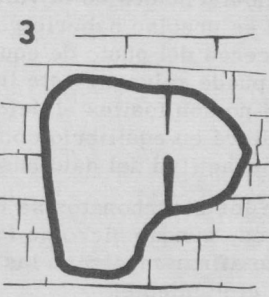
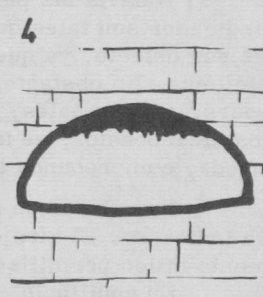
La nomenclatura de estas seis formas se conservará aquí por el claro sentido que encierra.



fig. 1

Cuatro posibles combinaciones de seis formas simples.

Los signos + ó - referibles al caudal o a  $PCO_2$  indican valores "relativamente abundante" o "relativamente escaso" respectivamente.

CAUDAL	$P_{CO_2}$	CAUDAL	$P_{CO_2}$
+	+	+	-
1 		2 	
CAUDAL	$P_{CO_2}$	CAUDAL	$P_{CO_2}$
-	+	-	-
3 		4 	

## METODO.

Para conocer la cantidad de material a depositar, dependiente del caudal de degoteo, basta medir éste, para lo que es necesario efectuar una serie de medidas en diferentes épocas a fin de dar con el valor medio.

En el caso de degoteos lentos, se puede considerar como válido que doce gotas, equivalen a un centímetro cúbico.

Es suficiente para la mayoría de los casos un cronómetro y una probeta graduada.

No deben en ningún caso confundirse las formas con muy poco caudal, con las formas ya muertas, pertenecientes a fases litogenéticas pretéritas.

El conocimiento de la dificultad de cesión de  $CO_2$  a la atmosfera hipogea, y consiguiente depósito de  $CaCO_3$ , viene regido por el valor de la presión parcial del anhídrido carbónico existente en el aire  $PCO_2$ ; siendo por tanto el objetivo, efectuar su medida.

Dada la disposición de la mayoría de las cavidades es prácticamente imposible trabajar en ellas con un ORSAT u otro analizador de gases, por ser este tipo de aparatos generalmente complicados y frágiles.

La experiencia demuestra que es mejor utilizar un método indirecto basado en los conceptos y leyes que rigen los equilibrios químicos. Así: si analizamos el ácido carbónico libre total contenido en una porción de agua existente en la cavidad, conoceremos

mos de rechazo el existente en el aire en virtud del "coeficiente de reparto" de NERST que rige la distribución del  $\text{CO}_2$  entre agua y aire.

Para que esta operación sea correcta, es necesario que dicha agua se halle el suficiente tiempo en contacto con la atmósfera de la cavidad como para que se halle establecido el equilibrio; para lo cual es necesario que el agua sea extática al par que posea una buena superficie y poca profundidad para que la difusión del  $\text{CO}_2$  se halle suficientemente favorecida.

La valoración del  $\text{H}_2\text{CO}_3$  se efectúa con  $\text{OHNa}$  0,01 N utilizando como indicador unas gotas de solución alcohólica de fenolftaleína de tal modo que el fin de la reacción viene señalado por una coloración rojo-carmín que no desaparece al agitar.

La reacción es la siguiente:



y la equivalencia viene dada por

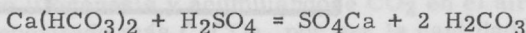
$$1 \text{ c.c. NaOH } 0,01 \text{ N} :: 0,44 \text{ mgr. de } (\text{CO}_2 \text{ LT})$$

$$\text{CO}_2 \text{ LT} = \text{ácido carbónico libre total}$$

Todavía las particularidades de la valoración del  $\text{H}_2\text{CO}_3$  con fenolftaleína como indicador son tales que es preciso haberlo realizado muchas veces para no dar errores por defecto, ya que cerca del punto de equivalencia la reacción es extraordinariamente lenta. No obstante, puede salvarse este inconveniente utilizando el agua existente en gours, en los cuales, si no son fósiles el ácido carbónico semicombinado ( $\text{CO}_2 \text{ SC}$ ) de los bicarbonatos, se hallará en equilibrio con el ácido carbónico libre objeto de la búsqueda, comprobando la exactitud del dato buscado.

La valoración de los bicarbonatos se realiza con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 N y metilorange como indicador. El viraje es, aunque bicromo (de amarillo a rosa-rojizo) extraordinariamente nitico permitiendo afinar mucho en las lecturas.

En equilibrio es el siguiente:



y la equivalencia está dada por:

$$1 \text{ c.c. H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,1 \text{ N} :: 2,2 \text{ mgr. de } (\text{CO}_2 \text{ SC}).$$

Resumiendo, las operaciones a realizarse son las siguientes:

a) Efectuar cuantas medidas de caudal se consideren oportunas en las formas litogénicas que se juzguen de interés.

b) Elegir un "gours" de amplia superficie y poco fondo en el que no exista el más mínimo signo de decalcificación ya que ello implicaría la existencia de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  libre agresivo cuyo exceso no se hallaría en equilibrio con el correspondiente semicombinado de los bicarbonatos.

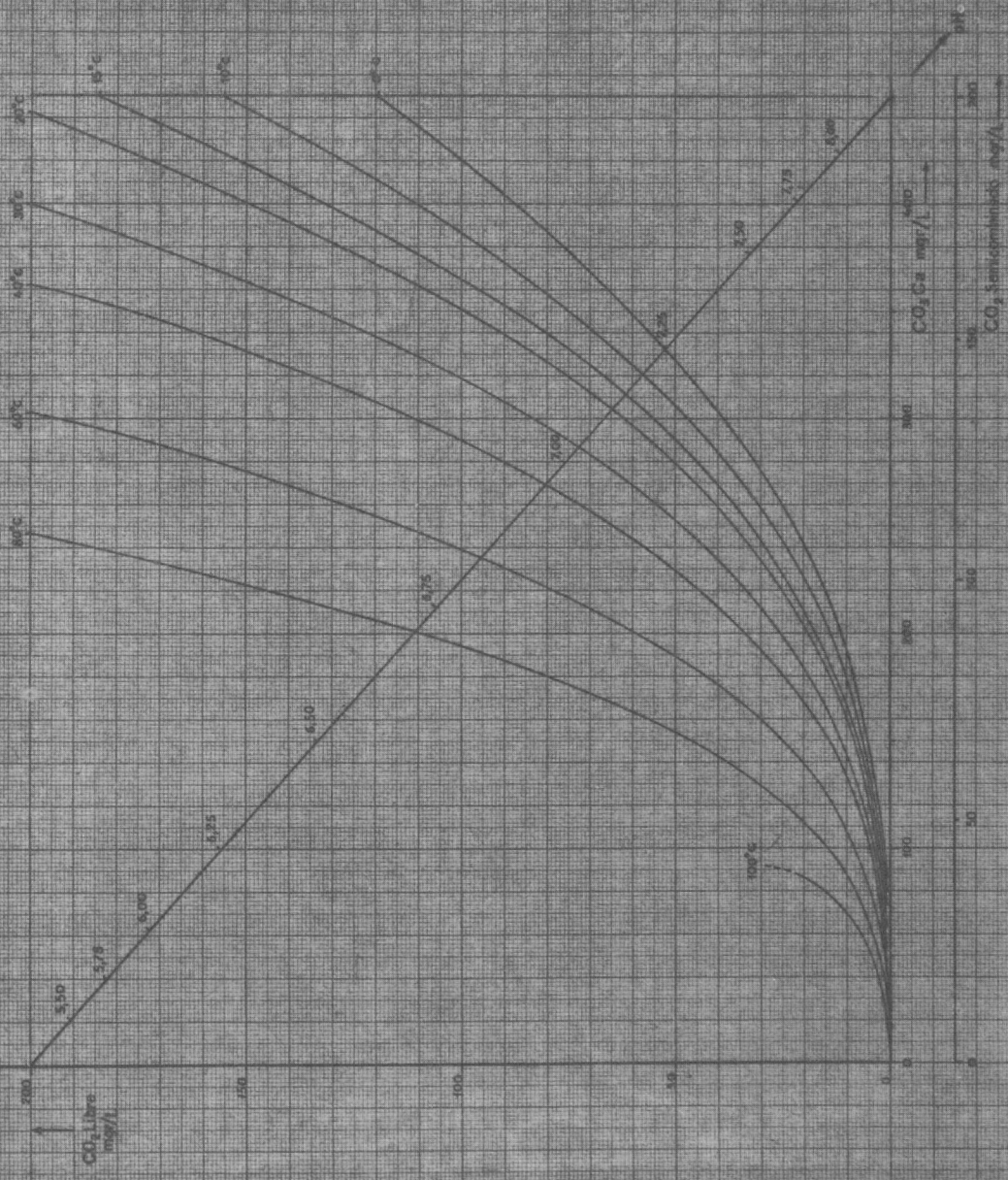
c) Medir la temperatura del agua y valorar en ella el ácido carbónico libre total y el ácido carbónico semicombinado de los bicarbonatos, comprobando mediante la gráfica N°. 3 que existe equilibrio para la isoterma dada, entre ambos valores.

d) Mediante la gráfica n°. 2 que relaciona el reparto del  $\text{CO}_2$  entre agua y aire para cada temperatura, determinar el correspondiente  $\text{PCO}_2$ .

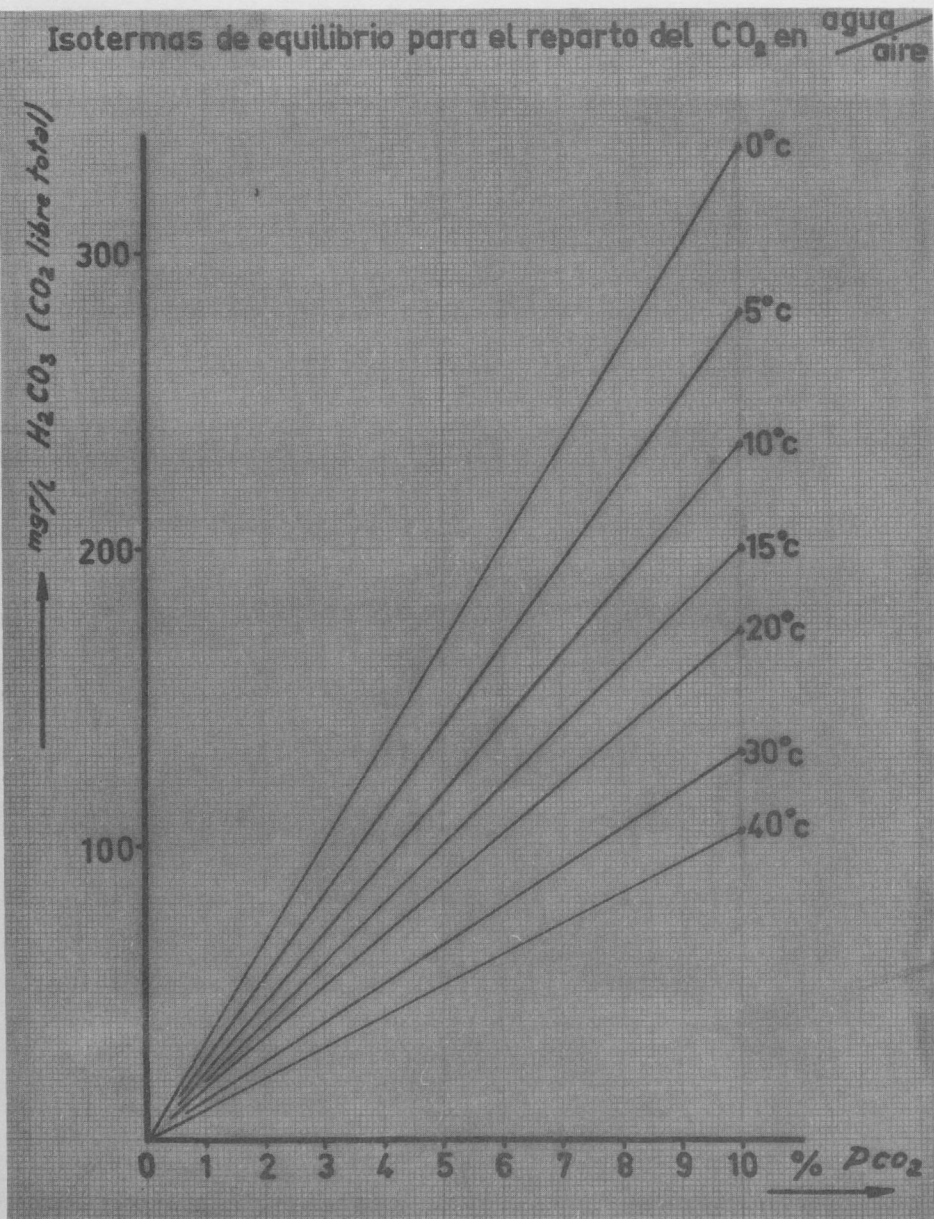
e) Una vez conocido  $\text{PCO}_2$  previa medida de la presión atmosférica  $P_T$  de la cavidad, efectuar la correspondiente corrección de presiones, ya que el valor de  $\text{PCO}_2$

# ISOTERMAS DE EQUILIBRIO

PARA



Gráfica No. 3



Gráfica n<sup>o</sup>.2

dado en la gráfica está calculado para una presión total de 760 mm de Hg.

En definitiva:  $\text{PCO}_2 \cdot \frac{P_T}{760} = \text{VALOR VERDADERO DE PCO}_2$

Debido a la influencia de la temperatura T en la constante de equilibrio, en las gráficas adjuntas se ha representado el haz de isotermas en el que cada una de ellas representa un estado de equilibrio. Como este se alcanza cuando la energía libre es mínima, y en nuestro caso esta es menor cuanto mayor la temperatura, se comprende que el



$\text{CaCO}_3$ , sea más soluble en frío que en caliente. Efectivamente la litogénesis viene favorecida al aumentar la temperatura, ocurriendo el caso inverso para la corrosión.

Es de gran interés para la justa interpretación de los resultados el comprobar que no existe renovamiento del aire de la cavidad (termocirculación o aerocirculación), lo que nos conduciría en caso positivo a disminuciones de  $\text{PCO}_2$  o a descensos térmicos en el caso de humidificaciones, dado el carácter endotérmico del fenómeno, con la subsiguiente variación del estado de equilibrio.

La medida de las temperaturas seca y húmeda (de saturación adiabática) con el psicrómetro nos definirá el grado de humedad ambiente, en el sentido de que no ocurrirán descensos térmicos por evaporación de agua si la humedad relativa es de 100 % y las temperaturas del agua y aire lo suficiente próximas.

## RESULTADOS

Hasta el momento, se ha trabajado principalmente en los Pirineos occidentales y estribaciones del ante-país español de la citada cadena, especialmente en las cavidades:

Mairuelegorreta y Bernesko del macizo de Gorbea,  
Sima de la "Pierre Saint Martin" en Larra,  
Complejo de Arrikutz en el karst de Arantzazu,  
Ojo Guareña en el karst de Sotoscueva,  
Torca del Carlista en Carranza,  
Sima Tximua en el macizo de Urbasa,  
Cueva de Lazaldai en Alava

todas ellas pertenecientes a karst de tipo húmedo.

Como ejemplo de karst seco, existen algunos datos tomados en el levante español, en:

Sima Navarro del Pla de Simes (Valencia).

Finalmente los restantes datos, fueron extraídos durante el Raduno Internazionale Bussento, que en la italiana provincia de Salerno patrocinó el Speleo Club Roma en 1960, en las cavidades de:

Inghiotitoio del Bussento,  
Inghiotitoio di Orsivacca,  
Inghiotitoio della Bacuta,  
Risorgenza di Morigerati.

Dados los datos de coexistencia recogidos, sobre las diferentes morfologías litogenéticas existentes, no parecen existir tipos cuya presencia se halle regida por condiciones que inhabitan la de otros tipos concretos. La realidad se adapta mejor si se admite el paso gradual de un tipo a otro por variación de una cierta relación entre los valores de la dificultad de cesión de  $\text{CO}_2$  ( $\text{PCO}_2$ ) y la cantidad (caudal) cedida.

Expresando el caudal en litros/segundo y  $\text{PCO}_2$  en atmósferas, se obtienen unos valores cuantitativos que vienen expresados en potencias negativas de 10. Tomando el logaritmo cambiado de signo (tal como en química  $\text{pH} = -\log. / \text{H.} /$ ) obtenemos pC y pD respectivamente la ordenada y la abcisa de la fig. 4, de tal modo que:

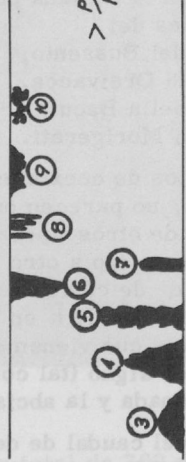
pC = - log. del caudal de degoteo en litros/segundo

pD = - log.  $\text{PCO}_2$  en atmósferas.

Adoptando como discriminante de cada tipo descrito en la fig. 4, la razón pC/pD, se observa que existen áreas de dispersión bastante bien definidas para los tipos morfológicos estudiados, al par que se aprecia una jerarquía de valores de pC/pD para cada tipo cuya ordenación de menos a más es:



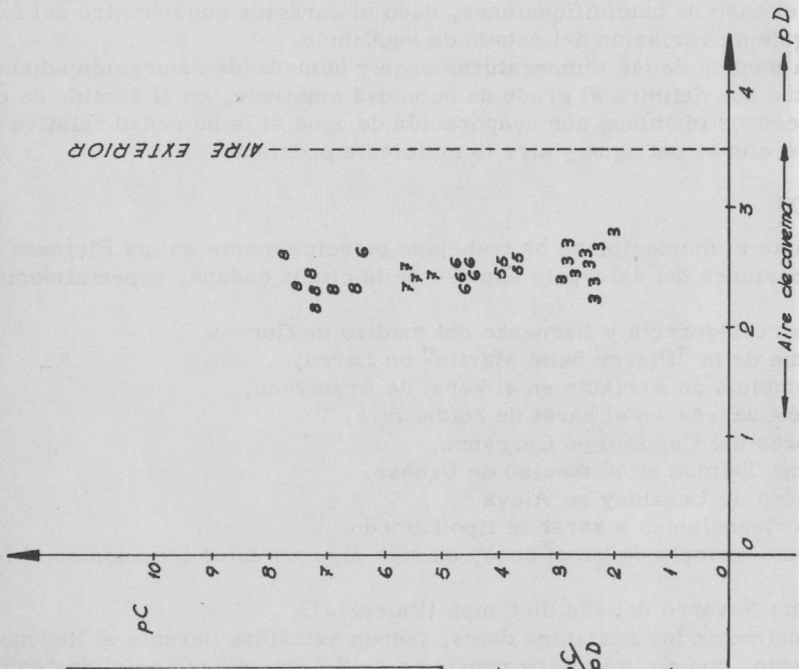
$\frac{PC}{PD}$	CLASE
1	TOBAS
2	GOURS de resurgencia
3	ESTALAGMITAS MIXTAS
4	" " PAGODITAS
5	" " DE CAUDAL (PALMERAS)
6	ESTALACTITA CLIMATICA
7	ESTALAGMITA "
8	ESTALAGMITAS DE CAUDAL
9	" MIXTAS
10	EXCENTRICAS
11	EXUDACIONES



$\frac{PC}{PD} >$

PC = log del caudal en lit/seg.

PD = log PCa en atm.



Gráfica n°. 4

- 1) Tobas en resurgencias
- 2) Gours en resurgencias intermitentes
- 3) Estalagmitas mixtas
- 4) Estalagmitas pagoditas
- 5) Estalagmitas de caudal (palmeras)
- 6) Estalactitas climaticas
- 7) Estalagmitas climaticas
- 8) Estalactitas de caudal (isotubulares)
- 9) Estalactitas mixtas
- 10) Estalactitas excentricas
- 11) Exudaciones

No se conocen todavía los límites de dispersión de cada tipo morfológico por disponer de pocos datos. No obstante, para algún morfológico concreto ya se pueden dar algunos valores medios de la razón  $pC/pD$ , con carácter aproximado.

Tipo	$pC/pD$
3	1
5	1,5
6	2
7	2,5
8	3

#### BIBLIOGRAFIA.

- BERL-LUNGE-D'ANS, Métodos de análisis Químico industrial, T.II, 1º parte y Ap.II. Labor - Barcelona.
- CHARLOT G., Teoría y método nuevos de Química Analítica cualitativa. 1 vol., 433 p., Aguilar - Madrid.
- GLASSTONE S., Termodinámica para químicos. 1 vol., XL tab., 37 fig., 637 pag., Aguilar - Madrid.
- GLASSTONE S., Tratado de Química-Física, 1 vol. 1180 pg., Aguilar - Madrid.
- TROMBE F., Traité de Spéléologie. 1 vol., 376 pg., 112 fig., Payot - Paris.

#### TRABAJOS CONSULTADOS.

- ERASO A., Algo sobre climática de Ojo Guareña, prensa en "Excma.Dip.Prov.de Bur=gos". 1959.
- ERASO A., Ensayo sobre la climática de Maituelegorreta. Bol. "Sancho el Sabio de Vi=toría", T.II, nº. 1 y 2. 1959.
- ERASO A., La corrosión en el "fuso" de Maucci. Soc.Ad.Sc.Trieste (en prensa).1959.
- ERASO A., La sima de la "Pierre Saint Martin", prensa en Excma.Dip.For.de Navar=ra. 1961.
- ERASO A., Anotaciones sobre la Físico-Química del "Bussento" en preparación para "Publicaciones del Speleo Club Roma".
- ERASO A., Polje de Zaldibe. Munibe, Nº. 4, San Sebastian. 1958.
- ERASO A., Torca del Carlista. "Memorias de la Asamblea regional de espeleología de Carranza". Excma.Dip.de Vizcaya. 1959.
- ERASO A., Consideraciones morfogenéticas sobre la cueva de Lazalday. "Notas y com=municaciones" del I.Geol.y Min. de España, nº.59, 1960.
- MONTORIOL J., Sobre la abundancia relativa en las formaciones hipógeas de estalac=titas y estalagmitas, con algunas consideraciones sobre la morfología de las mismas. "Urania", nº.235, Tarragona. 1953.

## Diskussion.

BALCELLS: Pregunto al conferenciante si es la primera vez que se utiliza este método en ciencia espeleológica.

ERASO: Si efectivamente.

BALCELLS: Entonces interesa que se haga un resumen en francés para que puedan comprenderle los otros colegas.

## INDICE DE FOTOS:

### Tafel I:

A la izquierda:

- 1 - Pagodita de Mairuelegorreta
- 2 - Estalactitas Climaticas y estalagmitas de morfologia intermedia entre Caudal y Climatica de Bernesko.

A la derecha:

- 3 - Estalagmita mixta de Tximua y Bernesko.
- 4 - Estalagmita mixta de Tximua y Bernesko.
- 5 - Excentrica de Lazaldy.

### Tafel II:

A la izquierda:

- 6 - Estalactitas Climaticas y estalagmitas de morfologia intermedia entre Caudal y Climatica de Bernesko.

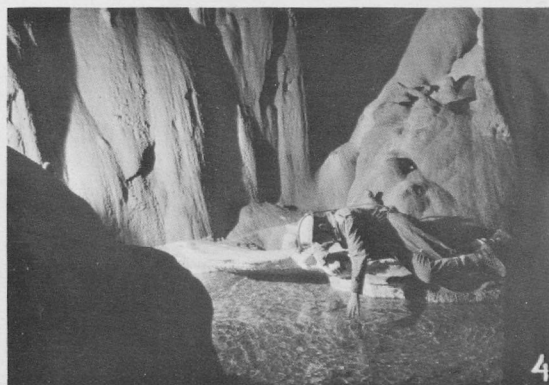
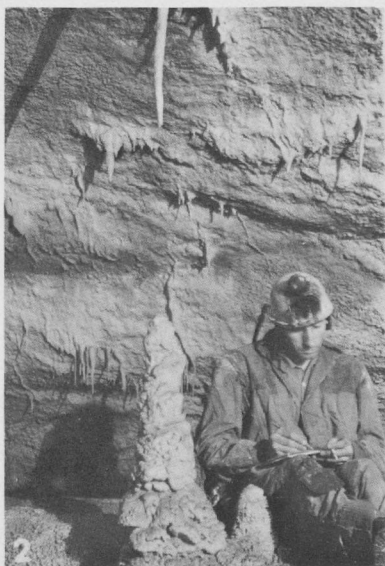
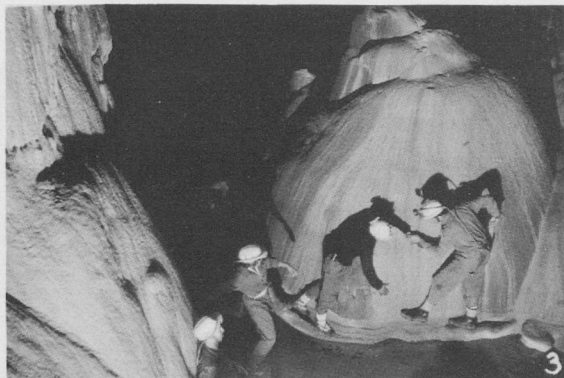
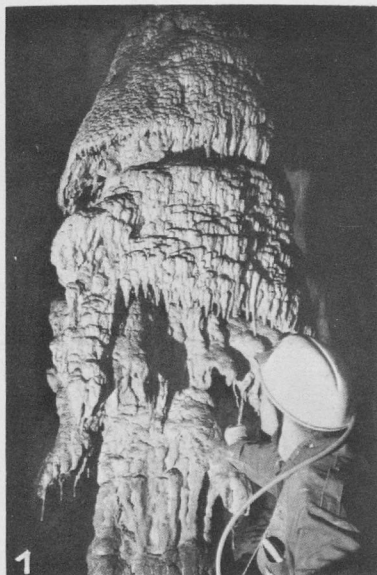
- 7 - Esbelta estalactita Climatica de Bernesko.

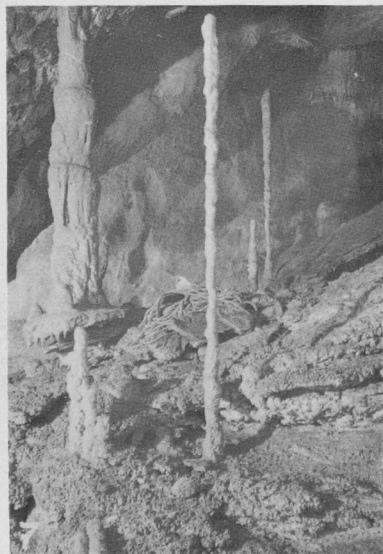
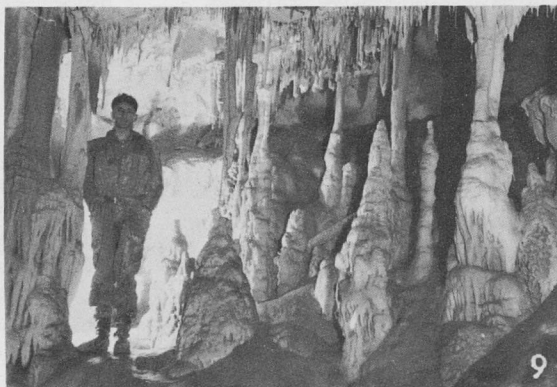
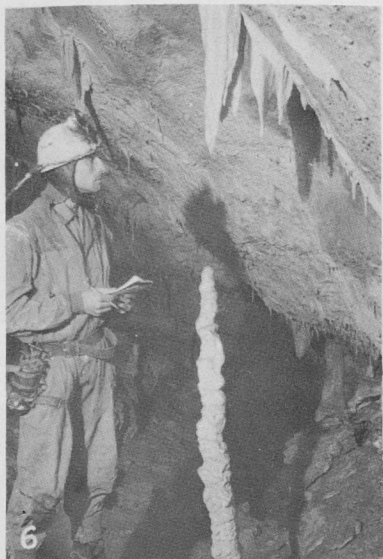
A la derecha:

- 8 - Asociaciones litogeneticas en Artzegui II, cavidad recientemente descubierta en el macizo de Gorbea.

9 - id.

10 - id.







Herbert W. FRANKE

## FORMPRINZIPIEN DES TROPFSTEINS

### ALLGEMEINE FORMGESETZE DES SINTERES.

Chronologische Zielsetzungen lassen möglichst vollständige Kenntnisse der Formgesetze des Höhlensinters als wünschenswert erscheinen. Das gilt ganz allgemein für die vorbereitende stratigraphische Analyse sinterdurchgesetzter Sedimente, besonders aber dort, wo direkte Sinterdatierungen mit Hilfe der Radiokarbonmethode geplant sind.

Arbeiten der letzten Jahre haben gezeigt, daß es verhältnismäßig einfache Prinzipien für die chronologisch wichtigen makroskopischen Tropfsteinformen gibt (1, 2, 3). Es sind jene, die unter dünnen, langsam abринnenden Wasserfilmen entstehen. Sie bilden die reichen Sinterlager unserer Breiten.

Zuerst fassen wir einige Ergebnisse zusammen, deren detaillierte Beweise in den zitierten Arbeiten enthalten sind.

Das Grundprinzip ergibt sich aus der einleuchtenden Tatsache: Wasser benützt infolge der Schwerkraft stets die jeweils steilste Strecke zum Abrinnen an der Wand. Nur dort haben also die Lösungen Gelegenheit, ihren Kalkgehalt abzuladen. Nach diesem Prinzip bildet der Tropfstein zwei völlig verschiedene Formentypen, je nachdem, ob er an überhängenden oder an aufwärtsgerichteten Wandpartien sitzt.

1. Überhängende Partie - Deckensinter. Durch die Kalkausscheidung verlegt die Lösung ihren Weg allmählich senkrecht nach unten. Das Ergebnis ist die Aufgliederung in lotrecht hängende, nahezu flächenhafte Gebilde.

2. Aufrechte Partie - Bodensinter. Durch die Kalkausscheidung füllt die Lösung ihren Weg auf und muß daher bald zur Seite ausweichen. Das setzt sich solange in die Umgebung fort, bis alle relativ tiefer liegenden Wegstrecken aufgefüllt sind. Aus solchen Weglinien gleicher Neigung setzt sich die Oberfläche des entstehenden Tropfsteingebildes geometrisch zusammen. Da somit die gesamte Oberfläche des zustandekommenden Körpers dem Wasser die gleichen Bedingungen zum Abrinnen bietet, wird sie, zumindest im Mittel, gleichmäßig benetzt. Bodensintergebilde wachsen daher in Schichten. Da jede davon einmal an der Oberfläche lag, ist sie demselben Formprinzip unterworfen. Im Gegensatz zu den Deckensintergebilden erfolgt das Wachstum der Bodensintergebilde also im Sinne einer Oberflächenglättung.

Infolge seines Schichtenaufbaus erscheint der Bodensinter für chronologische Betrachtungen nützlicher als der Deckensinter. Ein eingehenderes Studium seines For-

menschatzes zeigt einige neue Gesichtspunkte chronologischer Auswertung auf. Ohne im Folgenden an den betreffenden Stellen gesondert darauf hinzuweisen, legen wir dabei jene Vorstellungen über die Sinterbildung zugrunde, die BÖGLI (4) und TROMBE (5) entwickelt haben.

## WACHSTUMSREGELN FÜR BODENZAPFEN.

Da bei jedem Wandsintergebilde die Gestalt der Wand als irreguläres Element in die Rechnung eingeht, erweist sich der freistehende Bodenzapfen als jenes Sintergebilde, das geometrisch am besten zu erfassen ist. Nach der Regel für Bodensintergebilde muß er, vorausgesetzt, daß der Quellpunkt seine Lage beibehalten hat - und das ist visuell überprüfbar - rotationssymmetrisch sein, und alle seine charakteristischen Größen sind daher aus einem senkrechten Schnitt durch seine Achse zu ersehen. Daher steht dieser Schnitt stellvertretend für die ganze Form des Bodenzapfens. In ihm spiegelt sich das physikalisch-chemische Geschehen in der Höhle. Insbesondere ist zu erwarten, daß sich Zusammenhänge mit dem Klima ergeben und sich dessen Schwankungen darin ausdrücken.

Um die Zusammenhänge zwischen Form und Klima herauszuarbeiten, beschränken wir uns zuerst auf den Fall stationärer Bedingungen. Die Zufuhrgeschwindigkeit an Lösungswasser unveränderter Kalkkonzentration und auch alle anderen chemisch-physikalischen Bedingungen sollen gleich bleiben. Mikroerscheinungen berücksichtigen wir nicht, da sich solche infolge ihrer statistischen Gesetzmäßigkeiten gegenseitig nahezu aufheben und nur vernachlässigbare Störungen, etwa die Oberflächenrauigkeit, hervorrufen. Ein Beispiel eines solchen Vorganges ist das Zersprühen der Tropfen. Zur Vereinfachung nehmen wir zunächst auch noch an, der Bodenzapfen wächst auf einer ebenen Bodenfläche empor.

Die auftropfende Lösung läuft vom Auftropfpunkt ausgehend in die Umgebung. Wenn überhaupt die Bedingungen für Kalkabgabe erfüllt sind, dann wird die erste Schicht, die sich bildet, in der Mitte am dicksten sein und nach außen abfallen; dabei interessiert uns zuerst noch nicht, wo sie aufhört. Für diese Form ist vor allem eine Erscheinung maßgebend: Infolge der Kalkabgabe der nach außen wandernden Lösungen verringert sich deren Konzentration. Je weiter ein Flächenelement der Oberfläche vom Mittelpunkt entfernt ist, umso weniger Kalk erreicht und bedeckt es also, umso dünner ist dort die Schicht.

Die zweite Schicht wird sich gleichartig verhalten, ebenso die dritte und so fort. Da sich aber vom Mittelpunkt nach außen dünner werdende Schichten aufeinanderlegen, werden sie sich in der Mitte aufwölben und die Gestalt von Hauben annehmen. Ihre Durchwölbung steigt von den unteren zu den oberen Lagen, es läßt sich aber durch eine Diskussion einiger grundsätzlicher Eigenschaften der Abhängigkeit Schichtdicke-Achsenabstand zeigen, daß sie nicht immer weiter zunimmt, sondern einen Endwert erreicht, für den eine besondere mathematische Bedingung gilt: Sie ist nämlich so gebogen, daß ihre senkrecht gemessenen Schichtdicken über ihre ganze Fläche konstant sind. Alle Hauben, die sich übereinanderstülpen, haben demgemäß gleiche Form; sie sind nur gegenseitig parallel nach oben verschoben. Es stellt sich also, sobald der Formeinfluß des Bodens überwunden ist, ein Formgleichgewicht ein, übrigens ganz unabhängig davon, welche Gestalt der Boden aufweist. Wenn wir uns also nur mit dieser Gleichgewichtsform beschäftigen, sind wir von der Bodenform unabhängig und brauchen uns nicht auf ebenen Boden zu beziehen.

## BEZIEHUNGEN FÜR DIE GRÖSSENMASSE DER BODENZAPFEN.

Somit haben wir unsere Betrachtungen auf ein einziges sehr einfaches Gebilde beschränkt, die haubenförmige Sinterschicht. Zur weiteren Durchdringung des Problems fassen wir zusammen, was für Vorgänge an der Ausscheidung beteiligt sind:

A. Die Lösung rinnt von der Achse ausgehend über die Oberfläche des Tropfsteins ab. Zwischen dem Kohlendioxyd der Luft und jenem, das physikalisch im karbonathaltigen Wasser gelöst ist, besteht zunächst kein Gleichgewicht. An der Grenzfläche erfolgt während des Abrinnens so lange ein Austausch der Kohlendioxydmoleküle, bis die Konzentration in der Lösung auf jenen Wert gesunken ist, zu dem der Konzentrationswert der Luft im Gleichgewicht steht. Bei stufenweise nebeneinander laufenden Reaktionen ist die langsamste tempobestimmend. Dafür kommen vor allem die Grenzflächenreaktionen, die Diffusion des Kohlendioxyds durch die Wasseroberfläche und die Ausscheidung des Kalziumkarbonats in Frage. Da über die Reaktionsgeschwindigkeiten noch wenig bekannt ist, soll die Ableitung für beide Fälle erfolgen, zuerst unter der Annahme, daß die  $\text{CO}_2$ -Diffusion die maßgebende, langsamste Reaktion ist. Für den Kohlendioxydverlust der Lösung durch Diffusion gilt nach dem FICK'schen Gesetz:

$$(1) \quad \frac{\delta \text{CO}_2}{\delta t} \Big|_1 = \text{const.} ([\text{CO}_2] - [\text{CO}_2]_{g1}) ;$$

$[\text{CO}_2] \dots$  Konzentration des physikalisch gelösten Kohlendioxyds  
 $[\text{CO}_2]_{g1}$  . jene Konzentration des physikalisch gelösten Kohlendioxyds, die im Gleichgewicht mit der Kohlendioxydkonzentration der Luft steht.

B. Als Gleichgewichtsbeziehung zwischen dem  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft und der Konzentration des im Wasser physikalisch gelösten Kohlendioxyds benützen wir das HENRY'sche Gesetz

$$(2) \quad [\text{CO}_2]_{\text{Luft}} = \text{const.} [\text{CO}_2]_{g1}$$

C. Für das Verhältnis zwischen  $\text{CO}_2$  und der Konzentration der im Gleichgewicht dazugehörigen Kalziumionenkonzentration ist das Massenwirkungsgesetz maßgebend:

$$(3) \quad [\text{Ca}^{++}]^3 = \text{const.} [\text{CO}_2]$$

$[\text{Ca}^{++}] \dots$  Konzentration der gelösten Kalziumionen

Mit Hilfe dieser Beziehungen sind wir imstande, die abgeschiedene Kalkmenge durch die sie bestimmenden Größen auszudrücken. Prinzipiell wäre es möglich, daraus mathematisch exakte Formeln für den Aufbau der Bodenzapfen zu gewinnen, dazu wären aber spezielle Annahmen für den Abrinnvorgang nötig. Man kommt ohne diese Beschränkung aus und vereinfacht zugleich die Ableitung, wenn man auf die allgemeinen Formprinzipien für Tropfsteine zurückgreift und die quantitative Ausnutzung der Formeln (1), (2) und (3) auf Achsennähe beschränkt.

Wie aus dem Anhang zu ersehen ist, liegt der zunächst eine Formel für die Wachstumsgeschwindigkeit des Bodenzapfens:

$$(4) \quad \dot{z} = \text{const.} \cdot v_{\text{mol}} \frac{[\text{CO}_2] - [\text{CO}_2]_{g1}}{\sqrt{3[\text{CO}_2]^2 + c_1}}$$

$v_{\text{mol}} \dots$  Molvolumen des Kalziumkarbonats

Dabei ist  $c_1$  ein Produkt aus verschiedenen Lösungsprodukten und Dissoziationskonstanten. Gewöhnlich wird man  $[\text{CO}_2]_{g1}$  gegenüber  $[\text{CO}_2]$  vernachlässigen dürfen, da die Kohlendioxydkonzentrationen, die für das Auflösen des Kalks und für sein Verbleiben in Lösung verantwortlich sind, die Normalkonzentration der Luft um mehr als das Hundertfache übersteigen. Dann folgt aus (4):

$$(5) \quad \dot{z} \approx \text{const.} \cdot v_{\text{mol}} \frac{[\text{CO}_2]}{\sqrt{3[\text{CO}_2]^2 + c_1}}$$

Wenn wir von der schon erwähnten Tatsache Gebrauch machen, daß im stationären Fall die senkrecht gemessenen Höhen über die ganze Schicht hinweg konstant sind, dann läßt sich die Mengenbilanz in einfacher Weise ziehen:

$$(6) \quad \dot{v}([Ca^{++}] - [Ca^{++}]_{gl}) v_{mol} = \dot{z} \cdot q$$

$\dot{v} \dots$  Volumen des in der Zeiteinheit zugeführten Wassers;  
 $[Ca^{++}]_{gl}$  Konzentration der Kalziumionen, die mit der Kohlendioxydkonzentration der Luft im Gleichgewicht steht,  
 $\dot{z} \dots$  Höhenzuwachs in der Zeiteinheit;  
 $q \dots$  maximaler horizontaler Querschnitt des Bodenzapfens.

Durch Einsetzen von (4) ergibt sich daraus:

$$(7) \quad q = \text{const} \cdot \dot{v} \frac{\sqrt[3]{[CO_2]} - \sqrt[3]{[CO_2]_{gl}}}{[CO_2] - [CO_2]_{gl}} \sqrt[3]{[CO_2]^2 + c_1}$$

Wenn wir wieder  $[CO_2] \gg [CO_2]_{gl}$  voraussetzen, folgt:

$$(8) \quad q \approx \text{const} \cdot \dot{v} \left( 1 + \frac{c_1}{3\sqrt[3]{[CO_2]^2}} \right)$$

Der Querschnitt ist also linear von der zugeführten Wassermenge abhängig und nur eine schwache Funktion der Konzentrationen.

Wenn man nicht die Diffusion des Kohlendioxyds durch die Wasseroberfläche, sondern die Absetzung des Kalziumkarbonats als die langsamste Reaktion ansieht, erhält man als den Formeln (4) und (7) entsprechende Gleichungen:

$$(9) \quad \dot{z} = \text{const} \cdot v_{mol} \cdot \sqrt[3]{[CO_2]} - \sqrt[3]{[CO_2]_{gl}}$$

und

$$(10) \quad q = \text{const} \cdot \dot{v}$$

Die lineare Abhängigkeit des Querschnitts von der zugeführten Wassermenge ist also in diesem Fall exakt gültig. Im Fall der schon mehrfach betrachteten Näherung  $[CO_2] \gg [CO_2]_{gl}$  gilt für den Höhenzuwachs:

$$(11) \quad \dot{z} \approx \text{const} \sqrt[3]{[CO_2]}$$

## BODENZAPFEN ALS KLIMAINDIKATOREN.

Nun ist es natürlich eine der naheliegenden Aufgaben, aus den angegebenen Formeln Absolutwerte auszurechnen und sie mit beobachteten Werten zu vergleichen. Das wird vor allem ergeben, welche der vorausgesetzten Annahmen über Kalklösung und -ausscheidung zu Recht bestehen und welche eventuell zu modifizieren sind. Weiter ergibt sich die Frage, wie weit in den Ausmaßen der Bodenzapfen Klimagrößen zum Ausdruck kommen. Die Menge des einem Bodenzapfen zugeführten Wassers ist beispielsweise nicht nur von lokalen hydrographischen Bedingungen, sondern auch von der

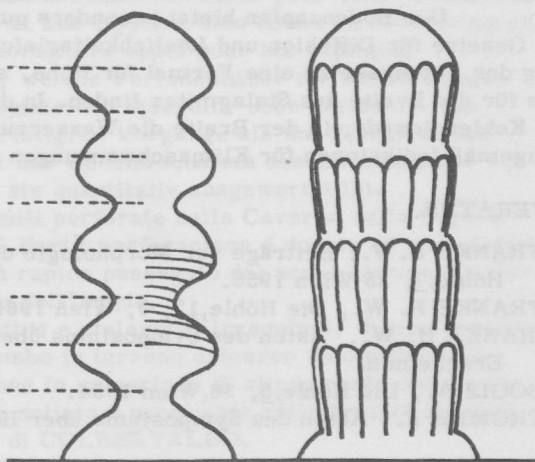


Regenmenge abhängig. Auch die Kohlendioxydkonzentrationen lassen Rückschlüsse auf die Vegetationsdichte zu. Gewiß wäre es dabei voreilig, gleich an eine quantitative Auswertung zu denken, doch dürften sich die Tendenzen von Klimaschwankungen recht gut aus den Bodenzapfenformen ersehen lassen.

Die Ergebnisse für den Querschnitt eines Bodenzapfens lassen sich auch auf nichtstationäre Zustände verallgemeinern, weil auch nach einer erfolgten Änderung der Wachstumsbedingungen bald der Gleichgewichtszustand eintritt. Abnahme der ankommenden Wassermengen wird sich daher durch Dickenabnahme des Bodenzapfens, also durch Kegelbildung, äußern. Ihre Zunahme sollte sich entsprechend in einer Abnahme ausdrücken, doch ist diese von außen nicht erkennbar, dahier die Gesetzmäßigkeiten für überhängende Sinterpartien anzuwenden sind. Der Dickenzuwachs ist durch Faltenbildung verdeckt. Tropfsteine aus Perioden zunehmenden Wasserreichtums haben daher die Form von Quallen. Schwankungen in der Wasserzufuhr äußern sich durch Dickenschwankungen des Bodenzapfens; die äußerlich sichtbare Folge ist das wechselnde Auftreten von glatten aufwärtsgerichteten Oberflächenpartien und in Falten zergliederten Abschnitten, also durch Kaskadenbildung, wie sie uns aus der Natur gut bekannt sind. (Fig. 1).

Fig. 1

Kaskadierter Bodenzapfen,  
schematisch



Querschnittsschwankungen können durch Änderungen des Lokalen Einzugsgebietes, das die Quelle speist, hervorgerufen werden, man darf diese Ursache jedoch ausschließen, wenn mehrere Bodenzapfen einer Tropfsteingeneration gleichartige Dickenfolgen zeigen. Dann sind Änderungen des Querschnitts Zeichen für Schwankungen der Niederschlagsmenge während der Entstehungszeit. Wenn sie auf eine gemeinsame Bildungszeit zurückgehen, müssen sie übrigens, unabhängig von ihrer Dicke, nach Formel (4) gleiche Höhen haben. In speziellen Fällen kann man auch an Parallelisierungen der Tropfsteingenerationen verschiedener Höhlen denken.

Die Aspekte, die der Bodenzapfen für die Rekonstruktion der Klimadaten vergangener Perioden zeigt, erscheint also beachtenswert. Zwar ist die Zahl der vorausgesetzten Annahmen und Einschränkungen groß, sie wurden aber den gegebenen Verhältnissen so angepaßt, daß sie vielenorts erlaubt und berechtigt sind. Allerdings wird man nur zu nützlichen Schlußfolgerungen kommen, wenn man die Gültigkeit der Voraussetzungen vorher prüft. Erhält man beispielsweise an mehreren benachbarten Bodenzapfen gleiche Daten, dann kann man sicher sein, daß keine lokalen Störeinflüsse aufgetreten sind.



Wenn die gegebenen Vorstellungen über die Aufbaugesetze des Sinters und speziell der Bodenzapfen in den routinemäßigen chronologischen Gebrauch eingeführt werden sollen, ist zunächst eine Prüfung ihrer Zuverlässigkeit an praktischen Beispielen erforderlich. Dabei werden vor allem solche spezielle Sintergebilde eine Rolle spielen, über deren Bildungsverhältnisse und Altersschichtung von anderen Untersuchungen her etwas bekannt ist.

Der Nutzen, den man von den abgeleiteten Beziehungen erwarten darf, liegt aber weniger in der exakten Zahl. Sie dürften sich eher dort bewähren, wo es um Abschätzungen, um Vergleiche oder um einen orientierenden Überblick geht.

## ZUSAMMENFASSUNG.

Schon auf Grund eines einfachen Prinzips läßt sich eine gute Übersicht über Sinterformen gewinnen. Es lautet: Wasser folgt beim Abrinnen stets der jeweils steilsten Linie. Daraus ergibt sich unter anderem, daß es zur Bildung zweier grundsätzlich verschiedener Formentypen kommt, je nachdem, ob es sich um überhängende oder aufwärtsgerichtete Partien handelt. Im ersten Fall kommt es zu flächenhaften, vorhangartigen Gebilden, im zweiten zu gerundeten glatten massiven Formen.

Der Bodenzapfen bietet besonders gut definierbare Bedingungen. Mit Hilfe der Gesetze für Diffusion und Löslichkeitsgleichgewichte läßt sich unter Berücksichtigung der Formgesetze eine Formel für Höhe, sowie Wachstumsgeschwindigkeit und eine für die Breite des Stalagmiten finden. In der Höhe spiegelt sich die Konzentration des Kohlendioxids, in der Breite die Wasserversorgung. Kaskadierte Bodenzapfen können demgemäß Indikatoren für Klimaschwankungen sein.

## LITERATUR.

- 1) FRANKE H. W., Beiträge zur Morphologie des Höhlensinters. 1. Mitteilung, Die Höhle, 7, 35 Wien 1956.
- 2) FRANKE H. W., Die Höhle, 12, 8, Wien 1961.
- 3) FRANKE H. W., Akten des Symposiums über Höhlensedimente in Varenna 1960, im Erscheinen.
- 4) BÖGLI A., Die Höhle, 5, 36, Wien 1954.
- 5) TROMBE F., Akten des Symposiums über Höhlensedimente in Varenna 1960.

## Diskussion.

BÖGLI: Der Palmenstammtyp scheint mir nicht ein Beweis für rhythmisch zunehmende Niederschlagsmenge zu sein, sondern eine Funktion der Fallhöhe der Tropfen zu dem allmählich infolge Ansetzens von Kalk zunehmenden Querschnitt. Wird eine Grenzgröße überschritten, so beginnt der Tropfstein wieder mit dem ursprünglichen Querschnitt zu wachsen.

FRANKE: Ich stimme Herrn Prof. Bögli darin zu, daß sich die Palmenstalagmiten der gegebenen Theorie entziehen, weil bei ihnen die Bewegungsenergie der herabfallenden Tropfen für die Verteilung des Lösungswassers maßgebend ist; es handelt sich aber nicht um Lösungen, die langsam vom höchsten Punkt des Bodenzapfens hinuntersickern - das aber war die von mir angenommene Voraussetzung. Im übrigen führt die exakte Durchrechnung des Problems, die im Rahmen des Referates nicht möglich war, zur Erkenntnis, daß eine Menge von physikalischen Größen, denen man auf den ersten Blick einen entscheidenden Einfluß auf die Ausscheidungsvorgänge und die Tropfsteinform zuschreiben würde, gar nicht in die Rechnung eingeht. Das Problem erweist sich damit überraschenderweise als einfacher, als man erwarten würde.

GEZE: L'idée d'une sédimentation rythmique d'origine climatique dans le concrétionnement est extrêmement intéressante, mais des critiques variées viennent facilement à l'esprit.

D'abord, les fissures d'alimentation en solutions bicarbonatées évoluent avec le temps. Certaines peuvent se colmater, d'autres peuvent au contraire capter l'eau des fissures voisines. La forme de la concrétion se modifiera alors en fonction de variations de débit sans origine climatique.

Des variations systématiques de formes pour toutes les concrétions d'une cavité peuvent aussi être commandées par un facteur simple mais non climatique: Dans la grotte du Bosc (Causses du Quercy), M. CAVAILLÉ a distingué trois phases successives s'expliquant par la fermeture progressive de la cavité, limitant les possibilités d'évaporation derrière le barrage local.

Par ailleurs, dans le cas des stalagmites "en piles d'assiettes" notamment, on se trouve en présence de répétitions de formes très nombreuses: elles sont trop nombreuses pour pouvoir être rattachées à des grandes variations climatiques du type de glaciations quaternaires par exemple (qui peuvent au contraire expliquer les grandes générations de masses concrétionnées, mais non les détails rythmiques); elles ne sont pas assez nombreuses pour être rattachées à des rythmes annuels ou même de 11 ans (rythme bien connu en climatologie). A quel type de rythme faudrait-il alors faire appel pour les expliquer ?

FRANKE: Es steht zwar noch nicht fest, welche Periodendauer die Schwankungen haben, die sich in kaskadierten Tropfsteinen spiegeln, doch dürfte es sich wahrscheinlich um bedeutend kurzfristigere Vorgänge als um Eiszeiten handeln. Übrigens wird die Formel für das Höhenwachstum des Bodenzapfens auf diese Frage Antwort geben, sobald sie quantitativ ausgewertet ist.

ANELLI: Segnalo la presenza di stalagmiti perforate nella Caverna della Cupola delle grotte di Castellana (Murge di Bari): perforazione é dovuta ad un aumento di stillicidio più attivo per un più rapido passaggio dell'acqua attraverso fissure ampliate dall'azione corrosiva dell'acqua.

Ha segnalato la formazione di stalattiti e stalagmiti irregolari, di tipo eccentrico, in una miniera di zinco e piombo in terreno calcareo dolomitico. La formazione delle concrezioni arvenne in un periodo di allagamento della miniera della durata di pochi anni.. La notizia é pubblicata nella rivista italiana "L'Universo", autore il Prof. Dino di COLBERTALDO.

LIÉGEAIS: Dans l'exposé de notre collègue Dr. FRANKE, quelque chose me heurte qui vient de ce que, au début d'une formation stalagmitique, les hauteurs de la concrétion vont en diminuant vers l'extérieur, puis, après un certain temps, restent constantes.

Les colonnes en "palmiers" et en "Champignons" ou en "méduses" ne répondent pas à cette loi et lorsque l'auteur y fait allusion, il est obligé d'en appeler à des changements de climats ou de microclimats.

A cette fin, il établit une formule mathématique tenant compte des divers éléments qui peuvent intervenir dans la formation des concrétions. Je suis adverse des formules mathématiques dans les sciences naturelles. Quoique ingénieur et formé aux mathématiques, j'ai lutté autrefois contre les formules en géologie, en géographie, ou en tectonique. Maintenant, je demande que l'on ne cherche pas à mettre la spéléologie et ses concrétions en formules algébriques.

Les raisons sont multiples: les principales sont l'ignorance dans laquelle nous sommes de trop de données, notamment le facteur "temps" et le facteur "climat". Il faut y ajouter que nous nous trouvons toujours en milieux hétérogènes et l'absence d'homogénéité rend difficile la mise en équation et aléatoires les résultats qu'on peut en obtenir.

FRANKE: Selbstverständlich dürfen theoretisch-physikalische Methoden nur dann auf "natürliche" Vorgänge angewendet werden, wenn man sich in jedem Stadium der Überlegung von der Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Beobachtungen kritisch überzeugt. Diese Methoden aber völlig aus den geologischen Wissenschaften zu verbannen zu wollen, bedeutet eine viel verbreitete und schon vielfach ergebnisreiche Entwicklung kurzerhand abzuschneiden.

## ANHANG.

### DIE RECHNERISCHE ABLEITUNG DER FORMELN.

1. Annahme: Die Diffusion des Kohlendioxyds durch die Wasseroberfläche ist die langsamste Reaktion.

Für den Querschnitt des Bodenzapfens gilt:

$$q \cdot z = \dot{v} ([Ca^{++}] - [Ca^{++}]_{gl}) v_{mol}$$

und für die Wachstumsgeschwindigkeit:

$$\dot{z} = \text{const} \cdot \frac{d[Ca^{++}]}{dt} \cdot d \cdot v_{mol}$$

d --- Dicke des Wasserfilms.

Nach dem Massenwirkungsgesetz ist

$$\begin{aligned} d[Ca^{++}] &= \text{const} \cdot \sqrt[3]{[CO_2]} \\ \frac{d[Ca^{++}]}{dt} &= \text{const} \cdot \frac{1}{3\sqrt{[CO_2]^2}} \cdot \frac{d[CO_2]}{dt} \end{aligned}$$

Nun setzt sich der Konzentrationsverlust des physikalisch gelösten Kohlendioxyds aus zwei Teilen zusammen: erstens dem aus der Ionenform übergehenden und zweitens dem aus dem Wasser in die Luft diffundierenden Kohlendioxyd;

$$\frac{d[CO_2]}{dt} = \left. \frac{\delta[CO_2]}{\delta t} \right|_{\text{aus } HCO_3^-} - \left. \frac{\delta[CO_2]}{\delta t} \right|_{\text{Diffusion}}$$

Nun ist nach dem Massenwirkungsgesetz in genügender Näherung

$$[HCO_3^-] = 2[Ca^{++}] = \text{const} \cdot \sqrt[3]{[CO_2]}$$

und deshalb

$$\left. \frac{\delta[CO_2]}{\delta t} \right|_{\text{aus } HCO_3^-} = - \frac{d[HCO_3^-]}{dt} = - \text{const} \cdot \frac{1}{3\sqrt{[CO_2]^2}} \cdot \frac{d[CO_2]}{dt}$$

Für den abdiffundierenden Teil gilt das Ficksche Diffusionsgesetz:

$$\left. \frac{\delta[CO_2]}{\delta t} \right|_{\text{Diffusion}} = \text{const} \cdot ([CO_2] - [CO_2]_{gl})$$

Daher ist

$$\frac{d[CO_2]}{dt} = - \frac{c_1}{3\sqrt{[CO_2]^2}} \cdot \frac{d[CO_2]}{dt} - \text{const} \cdot \frac{[CO_2] - [CO_2]_{gl}}{d},$$

und für die gesuchte Gesamtänderung ergibt sich

$$\frac{d[\text{CO}_2]}{dt} = \text{const.} \cdot \frac{[\text{CO}_2] - [\text{CO}_2]_{gl}}{1 + \frac{c_1}{3\sqrt{[\text{CO}_2]^2}}}$$

Somit wird

$$\frac{d[\text{Ca}^{++}]}{dt} = \text{const.} \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{[\text{CO}_2] - [\text{CO}_2]_{gl}}{3\sqrt{[\text{CO}_2]^2} + c_1}$$

und

$$\dot{z} = \text{const.} \cdot v_{\text{mol}} \cdot \frac{[\text{CO}_2] - [\text{CO}_2]_{gl}}{3\sqrt{[\text{CO}_2]^2} + c_1}$$

Dementsprechend ergibt sich für

$$q = \text{const.} \cdot \frac{3\sqrt{[\text{CO}_2]} - 3\sqrt{[\text{CO}_2]_{gl}}}{[\text{CO}_2] - [\text{CO}_2]_{gl}} \cdot \sqrt{3\sqrt{[\text{CO}_2]^2} + c_1}.$$

2. Annahme: Die Ablagerung des Kalziumkarbonats ist die langsamste Reaktion.

Nach dem Fickschen Diffusionsgesetz gilt

$$d \cdot \frac{d[\text{Ca}^{++}]}{dt} = \text{const.} \cdot ([\text{Ca}^{++}] - [\text{Ca}^{++}]_{gl})$$

Dann folgt aus dem Massenwirkungsgesetz

$$\dot{z} = \text{const.} \cdot v_{\text{mol}} \cdot \frac{3\sqrt{[\text{CO}_2]} - 3\sqrt{[\text{CO}_2]_{gl}}}{[\text{CO}_2] - [\text{CO}_2]_{gl}}$$

Daher wird der Querschnitt

$$q = \text{const.} \cdot \dot{z}$$

Für wertvolle Hinweise habe ich Herrn Rane L. CURL zu danken.

Eingehende Untersuchungen auf diesem Gebiet wurden neuerlich im letzten Dezentium durchgeführt, die zu der Erkenntnis führten, daß die großräumigen Vorgänge im Weltgeschehen weitgehend die Zirkulationsrichtung und -stärke, sowie die Zirkulationsumkehr in den dynamischen Höhlensystemen zu beeinflussen vermögen. In erster Linie sind es die Luftdruckgegensätze, hervorgerufen durch die Verlagerungen des Hoch- und Tiefdruckgebietes und der weiträumigen Strömungsverhältnisse der Atmosphäre und die dadurch im Alpenraum bewirkten Druckschwankungen, welche innerhalb weiter Gebiete zu Ausgleichsströmungen führen. Folgeraus diesem Luftströmungen, die im gesamten Alpenraum nach oder wider der Äquatorialebene verläuft, wird auch die Höhlenbewitterung in gleichem oder entgegengesetztem Sinne beeinflußt. Wie also z. B. über dem Alpenraum eine Westströmung verläuft, so verläuft diese nördliche Strömung der freien Atmosphäre auch die Höhlenzirkulation. Umgekehrt wirkt sie auf eine bergwärtige Höhlenzirkulation abschwächend. Analog dazu konnten die Strömungsverhältnisse der Atmosphäre auch bei der Zirkulationsumkehr in Höhlensystemen als wesentlicher Faktor beobachtet werden.





Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology  
SEKTION I

---

Walter GRESSEL

### ZUR SPELÄOMETEOROLOGIE.

Die Probleme der Speläometeorologie, der Erforschung der Wettervorgänge in Höhlen, gestalten sich ähnlich mannigfaltig, wie die der Meteorologie selbst, zumal hier noch eine Modifikation der Wettererscheinungen durch groß- und kleinräumige, orographische Einflüsse unter Tag hinzutritt. Da nun auch alle Höhlensysteme, ob statisch oder dynamisch, letztere natürlich noch viel augenscheinlicher, in dauernder Verbindung mit der freien Atmosphäre stehen, sind sie auch selbstverständlich als Teilgebiet derselben zu betrachten.

Wenngleich zwar diesen Räumen keinerlei Bedeutung für die großräumige Entwicklung von Hoch- und Tiefdruckgebieten oder weiträumigen Strömungsverhältnissen zukommt, so spiegelt sich jedoch dafür in den Teilen der Atmosphäre unter Tag das allgemeine Wettergeschehen einerseits in Form von Druck- und Zirkulationsschwankungen und andererseits in Veränderungen der Temperatur und Feuchtigkeit, sowie der Niederschlagsverhältnisse, deutlich wider. Besonders klar treten diese Erscheinungen bei den großen dynamischen Höhlensystemen auf und sind auch schon seit Beginn der Speläometeorologischen Forschung als dynamische Effekte, auf dem Prinzip der kommunizierenden Röhren beruhend, bekannt.

Eingehende Untersuchungen auf diesem Gebiet wurden neuerlich im letzten Dezenium durchgeführt, die zu der Erkenntnis führten, daß die großräumigen Vorgänge im Wettergeschehen weitgehend die Zirkulationsrichtung und -stärke, sowie die Zirkulationsumkehr in den dynamischen Höhlensystemen zu beeinflussen vermögen. In erster Linie sind es die Luftdruckgegensätze, hervorgerufen durch die Verlagerungstendenzen der Hoch- und Tiefdruckgebiete und der weiträumigen Strömungsverhältnisse der Atmosphäre und die dadurch im Alpenraum bewirkten Druckschwankungen, welche innerhalb weiter Gebiete zu Ausgleichsströmungen führen. Entsprechend diesen Luftströmungen, die im gesamten Alpenraum mehr oder minder zur Auswirkung kommen, wird auch die Höhlenbewetterung in gleichsinniger oder entgegengesetzter Richtung beeinflusst. Weht also z. B. über dem Alpenraum eine Nordströmung und weist das Höhlensystem eine Nord-Süd-Richtung mit talwärtiger Bewetterung auf, so verstärkt diese nördliche Strömung der freien Atmosphäre auch die Höhlenzirkulation. Umgekehrt wirkt sie auf eine bergwärtige Höhlenzirkulation abschwächend. Analog dazu konnten die Strömungsverhältnisse der Atmosphäre auch bei der Zirkulationsumkehr in Höhlensystemen als wesentlicher Faktor beobachtet werden.

Neben diesen Luftdruck- und Zirkulationsschwankungen in der freien Atmosphäre, denen die mehr oder minder lebhaften Austauschvorgänge kurzfristiger und raschlebigere Art in den Höhlensystemen zuzuschreiben sind, verdienen noch die Temperatureinflüsse eine besondere Beachtung, die ähnlich wie in der freien Atmosphäre vorwiegend langfristige Auswirkungen zeigen und sich meist als Jahreszeiten-effekt erweisen.

Aber nicht nur in den großen dynamischen Höhlensystemen sind Einflüsse des Wettergeschehens zu beobachten, sondern, wenn auch nicht so ausgeprägt, auch in statischen Höhlen. Luftdruckschwankungen, die in der freien Atmosphäre eine Hebung oder Senkung des allgemeinen Druckniveaus bewirken, führen auch in statischen Höhlen zu einem Zustrom oder Absaugen von Luftmengen, also zu einem Luftmassenaustausch in kleinerem Ausmaß, der in der Nähe des Höhleneingangs am stärksten und im Höhleninneren am geringsten ist. Ohne Zweifel aber wird von ihm das gesamte Höhlensystem erfaßt, er bewirkt auch in den scheinbar statischen Höhlen Luftmassenumlagerungen und schwache, meist kaum spürbare und nur am Rauchzug erkennbare Mikroströmungen, ähnlich dem sprichwörtlichen Atmen der Erde, wobei bei stärker fallendem Druck die Erdemanation ausströmt, während bei stark steigendem Luftdruck die Außenluft in den Erdboden eindringt.

Will man auf Grund dieser Tatsachen die Einteilung der Höhlensysteme von meteorologischen Standpunkt in statische und dynamische beibehalten, so ist eine solche als großzügige Charakteristik nach wie vor gerechtfertigt, nur mit der bewußten Erkenntnis, daß eben die dynamischen Höhlen eine lebhaftere Wetterführung besitzen, während die statischen Höhlen nur Kleinströmungen und Mikroaustauschvorgängen unterworfen sind. Eine meteorologische Einteilung der Höhlen in kalte und warme Höhlen scheint unzutreffend, da 1. die Temperaturverhältnisse keine Aussage über die Art der Bewetterung geben und damit schon für die Klassifikation eines Naturgeschehens hinfällig sind, 2. die Temperatur im Laufe des Jahres Schwankungen unterworfen ist und als solche schon nur relativ ist und 3. eine genaue tägliche Temperaturmessung, wie sie für eine solche Klassifikation erforderlich wäre, nur in den wenigsten Höhlen ermöglicht werden kann.

Da es zeitmäßig leider nicht mehr möglich ist auf die durchgeführten Einzelbeobachtungen und wissenschaftlichen Detailuntersuchungen bei der Erforschung alpiner Höhlensysteme einzugehen, möchte ich abschließend nur noch auf die laufenden Publikationen des Verfassers in der Zeitschrift "Die Höhle", der meteorologischen Rundschau 1958, Heft 2 und in den Berichten des deutschen Wetterdienstes Nr. 54 verweisen.

#### Diskussion.

SAAR: Es wird darauf aufmerksam gemacht, daß größere Bedeutung auf Verdunstung (Kälte) und Kondensation (Wärme) gelegt werden muß. Das Wachstum des Bodeneises dürfte sogar mehr auf Abscheidung von Kondenswasser als auf Spaltwasser zurückzuführen sein.

Н. А. ГВОЗДЕЦКИЙ

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ КАР-  
СТОВЫХ ПЕЩЕР В СКЛАДЧАТЫХ ГОРАХ

Важнейшим для понимания карстового процесса вообще, и возникновения карстовых пещер в частности, является представление об одновременном и взаимосвязанном действии процессов растворения и размыва и о том, что размыв растворимых пород подготавливается химическим воздействием / 2, стр. 94-97/. Растворяющее действие воды проявляется неодинаково на поверхности известняка или доломита, являющихся по своей микроструктуре зернистыми породами. Растворение прежде всего действует на спайки зерен, освобождая зерна от сцепления и облегчая их смыв механическим действием водного потока, облегчая также и значительно активизируя истирающее воздействие влекаемых потоком песка, гравия и гальки. Благодаря этому процессу одновременного действия растворения и эрозии образуются гладкие, как бы отшлифованные поверхности известняка.

Эксперимент показал, /4/, что на выполненных под микроскопом фотографиях поверхности доломита, которая предварительно подвергалась растворяющему действию воды, ясно видны округлые зерна породы, рельефно выступающие вперед и почти отчлененные от плоскости среза породы. На микрофотографиях плоскостей среза, выполненных до воздействия растворения, ничего подобного нет. Достаточно небольшого механического усилия текущей воды, чтобы отпрепарированные растворением выступающие вперед зерна были оторваны от среза породы и унесены прочь.

Так как при турбулентном движении воды скорости в пограничном слое быстро возрастают, имея конечные значения на очень близком расстоянии от дна или стенок русла / I стр. 280, 282/, механическое воздействие водного потока на отпрепарированные растворением зерна неизбежно. Можно быть совершенно уверенным в том, что поверхность подвергающегося растворяющему действию известняка приобретает такие же осо-

бенности, как повежность доломита.

Таким образом смело можно утверждать, что при турбулентном движении воды и при достаточных скоростях водного потока, в формировании поверхности карстовых местностей и в образовании подземных форм карста участвуют одновременно и растворение и размыв, т.е. коррозия и эрозия, действуя взаимосвязанно. Подверженность твердых известняковых скал растворяющему действию воды облегчает проявление в них эрозии, потому что размыв подготавливается растворением, а также весьма активизирует механическое истирание влекомыми водным потоком обломками более твердых горных пород и находящимся во взвешенном состоянии кварцевым песком.

Под землей движение карстовых вод, за исключением свободных пещерных потоков, обычно происходит медленно. Но в местах выхода воды в виде источников, где вода получает возможность быстро изливаться, скорость ее движения значительно возрастает и изменяется характер движения: ламинарное движение переходит в турбулентное /если во внутренних частях массива вода двигалась ламинарно/. Количественное изменение скорости движения дает новое качество - новый характер движения. Происходит энергичное расширение изливающего канала. Если к источнику подходил поток воды под напором, то в устье расширенного канала он течет уже свободно, производя одновременно с растворением эрозионный размыв, почва для действия которого подготавливается растворением. Если же источник дренировал самый верхний уровень карстовых вод, то в этом случае у места выхода воды происходит концентрация /стягивание/ свободных потоков в один общий поток, более мощный, с большой скоростью движения свободно изливающейся воды, который также энергично расширяет выводной канал. В том и в другом случае образуется почти горизонтальная галерея с пещерной рекой, которая, подобно долине поверхностного водотока, отступает все дальше и дальше своим верховьем в глубь массива. Этот "регрессивный" рост пещерных галлерей с подземными реками в дальнейшем существенно видоизменяет циркуляцию вод внутри массива, благодаря дренирующему действию подземных рек.

Если в начале своего возникновения выводные пещерные галереи находились в определенном соотношении с дренирующими элементами наземного рельефа /днищами речных долин и т.п./, то с дальнейшим поднятием местности /а для карстовых горных массивов этот вид движения земной коры наиболее характерен/ и врезанием долин их положение уже будет в противоречии с этими элементами. Однако перестройка водной циркуляции произойдет не сразу. Пещера Адзаба, например, близ Сухуми, продолжает еще развиваться /продолжается, в частности, и "попятное" отступление ее "верховья"/ независимо от гораздо более низкого положения уровня Гумисты /3/. Не является также "мертвой" высоко расположен-



ная над уровнем р. Западной Гумисты пещера у с. Андреевского. Однако с прогрессирующим поднятием местности и углублением поверхностных дрен уже созданы предпосылки для перестройки подземной циркуляции вод. Из открывшихся в глубже прорезавшиеся долины каналов с водой, движущаяся под напором, вода начинает изливаться на поверхность и расширять канал. Создается возможность той эволюции подземной гидрографии, которую нарисовал О. Леманн /6/. В его представление нужно лишь внести уточнение, исходящее из положения о подготовке механического воздействия воды химическим воздействием. В результате этой эволюции произойдет коренная перестройка схемы циркуляции воды в карстовом массиве и возникшие прежде /верхние/ пещерные горизонты в конце концов будут осушены. Произойдет смешение зон, или этажей, водной циркуляции. Но если мы признаем движения земной коры не как случайный нарушающий фактор, а как общий фон, на котором протекает эволюция "гидрографии карста", то неизбежно приходим к выводу, что в природе можно наблюдать эти зоны водной циркуляции именно в процессе их развития - смешения и становления.

Здесь имеется в виду случай горного массива с большой мощностью дислоцированных карстующихся толщ, распространяющихся в глубину ниже долинных врезов, который типичен для южного склона западной части Большого Кавказа.

Известно, что В. М. Дэвис не претендовал на универсальность своей теории двуциклового развития пещер и ее полное признание, видя невозможность об"яснить с ее помощью этажность расположения горизонтальных пещер в известняках, дислоцированных пликвативно и имеющих наклонное залегание слоев / 5, стр. 623/, т. е. как раз именно тот случай, который рассмотрен нами. Исследование пещер Большого Кавказа лишний раз показывает, что теория Дэвиса, по меньшей мере, не может претендовать на универсальность.

Большинство пещер южного склона западной части Большого Кавказа представляет собой почти горизонтальные галереи в дислоцированных пликвативно известняках, иногда расположенные в несколько этажей. В главные туннели открываются боковые ответвления, но почти никогда не наблюдается пересечения проходов и сложных систем камер, соединяющихся проходами не последовательно, а как нибудь без видимого порядка; если же это и наблюдается, то может быть об"яснено позднейшим развитием натечных образований. По многим пещерным тоннелям и сейчас протекают подземные реки. В тех случаях, когда пещеры уже лишены воды, форма длинных и узких, подчас разветвляющихся, но никогда не переплетающихся между собой тоннелей довольно ясно говорит об их образовании подземной рекой и ее притоками. Как развивались эти подземные потоки и вмещавшие их пещерные тоннели мы и показали выше.



Нередки на Кавказе такие пещерные полости, образование которых, по-видимому, не было связано с деятельностью подземных рек, а которые возникли благодаря растворению стенок трещин периодически просачивавшейся с земной поверхности водой в зоне аэрации, т.е. в верхнем этаже подземной циркуляции вод.

Поскольку во всех случаях направляющими путями движения воды являлись трещины, в морфологии пещер ярко отражаются системы трещиноватости. Образование известковых натечков и капельников существенно изменяло их конфигурацию / 2, стр.190-198/.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Великанов М.А., Гидрология суши, изд.4, Ленинград, 1948.
2. Гвоздецкий Н.А., Карст, изд.2, Москва, 1954.
3. Гвоздецкий Н.А., Две карстовые пещеры Абхазии. Спелеология и карстование, сборн. Географической секции Моск. общества испытателей природы, Москва, 1959.
4. Родионов Н.В., Изменения карбонатных пород в процессе карста. Тезисы докладов Пермской карстовой конференции, 1947.
5. Davis W.M., Origin of Limestone Caverns. Bull. of the Geol. Soc. of Amer. vol.41, 1930.
6. Lehmann O., Hydrographie des Karstes. Enzyklopädie der Erdkunde, hrsgb. v. O. Kende. Leipzig und Wien, 1932.

Н.А.Гвоздецкий  
17.XII.1961

---

Martin KIRCHMAYER

## UNTERSUCHUNGEN AN REZENTEN HÖHLENPERLEN

In fast allen Höhlen Österreichs finden sich (auch Vorkommen aus der Tschechoslowakei sind bekannt) etwa 1 - 15 mm im Durchmesser messende rhombohedroide oder ovoide, gelbliche oder weißlich-blaue, an der Oberfläche meist glänzend aussehende Ooide. Sie liegen in einer handtellergroßen "Pfanne". Die Ooide werden auch "Taubeneier" oder "Höhlenperlen" genannt; Die "Pfanne", "Taubennest". Die Höhlenperlen entstehen im Zusammenhang eines Vorganges, bei dem Wassertropfen auf dem Boden auffallend, eine Vertiefung dabei auskolken, in der dann die Ooide, ständig vom tropfenden Wasser in Bewegung gehalten, wachsen. Außerhalb der "Pfanne" kleben die Ooide zu Oolithen zusammen.

Eines dieser Vorkommen Österreichs wurde untersucht. Es unterscheidet sich von den bisher bekannten dadurch, daß die Ooide in einem Bergwerkstollen gefunden wurden, den man vor etwa 115 Jahren aufgefahren hat. Das Alter der Ooide ist daher größenordnungsmäßig gegeben. Die aus der Untersuchung gewonnenen Daten werden versuchsweise mit der Klimastatistik der Außenumgebung in Beziehung gesetzt. Die gesamten Resultate aus der Untersuchung der Höhlenperlen spiegeln nicht nur die klimastatistische Situation in der rezenten "Höhle" und deren Außenumgebung wider; die Methode läßt auch angewendet auf andere Vorkommen - bisher nicht zu erhaltende Aussagen über Höhlen geologischen Alters erreichbar werden. Weiters können die Resultate aus rezenten Ooide über das Prinzip des Aktualismus (Ch. LYELL 1830) auf fossile Ooide und Oolithe übertragen werden.

Der Fundort der Ooide liegt im nordwestlichen Randgebiet des Steirischen Beckens, nächst der Ortschaft Frohnleiten a.d. Mur (Bahnlinie Wien - Graz), Steiermark.

Der Bergwerkstollen wurde in eine devonisch-silurische Gesteinsabfolge aus Tonschiefer, Grünschiefer, Tuffen, Kalken und Sandsteinen (FLÜGEL und MAURIN, 1952 S. 227 ff., FLÜGEL 1952, S. 61 ff.) getrieben.

Das Stollensystem, das einer sulfidischen Vererzung nachging, ist nach SETZ (1902, S. 357 ff.) in der Abbauperiode um 1843 entstanden.

Der Stollen liegt in kalkreichen Grünschiefern, die eine Antiklinale bilden. Er befindet sich in 768 m Seehöhe, hat eine Länge von 27 m und ist etwa 2,50 m hoch. Das Stollenmundloch weist nach SE, ist aber durch Wald vor Sonneneinstrahlung

geschützt. Der Hang, in den der Stollen getrieben wurde, neigt sich mit 35°.

Die Sohle des Stollens ist mit Wasser bedeckt und zeigt Kalksinterbelag. Am First, unweit vor-Ort befinden sich flächenhafte Eintrittsstellen von Wasser, das sich noch oben sammelt und munter herabtropft. Die herabfallenden Tropfen höhlt eine "Pfanne" aus, in der die Höhlenperlen liegen.

Die Höhlenperlen zeigen eine Korngröße von 15 - 1 mm im Durchmesser; die Farbe ist gelblich, die Oberfläche glänzend. Die Kornform ist (Definition nach HOLMES, 1960, S. 1648 ff.) rhombohedroid, führt kaum Wedge-Form, vor allem sieht man ovoide Formen. Die Verrundung bewegt sich näher zur Klasse a (=gut gerundet) hin.

Zum Zwecke der Untersuchung wurden Dünnschliffe, die als Median - schliffe gewertet werden können, angefertigt; einer davon wurde zur Untersuchung ausgewählt.

Die Schliffe zeigen einen Kern aus dem umliegenden kalkreichen Chlo-rit-Epidotschiefer und diesen umhüllend konzentrisch angelagerte helle und dunkle Ringe. Sehr schmale Ringe können auskeilen und wiederkommen.

Die chemische Analyse der Ringsubstanz führte in dankenswerter Weise Herr Dr. F. HOFER, Wien durch: eine der Proben zeigt: 0,57 % Org. Subst., 43,29% Glühverl., 55,08% CaO; 0,03% SrO; 0,27% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + SiO<sub>2</sub>; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wurde in einer Größenordnung von 0,002 - 0,004 % nachgewiesen.

Die Röntgendiffraktometrie ergab, daß die Ringsubstanz reiner Calzit ist und für die Anwesenheit von Aragonit (Nachweisgrenze 0,5 %) kein Anhaltspunkt gegeben werden kann.

Somit bestehen sowohl die hellen als auch die dunklen Ringe aus reinem Calzit; über die Art der färbenden Substanz bei den dunklen Ringen ist man noch auf Vermutungen angewiesen. Mittels eines Mikrometerokulars wurden nun die hellen und die dunklen Ringe entlang einer Linie gemessen (1 Teilstrich = 0,005 mm).

Der Kern des Ooids mißt ungefähr 263,8 Teilstriche und erscheint bereits in eine Masse von Calzit gehüllt, die das Gesteinsfragment abrundete und so für die Anlagerung der rhythmischen Calzitringe eine weitgehend ebene Bauzone (SANDER 1950, S. 311) herstellte. Die Calzitkristalle sind darauf in radialer, nach außen gerichteter Orientierung angelagert.

Es fanden sich in der etwa 10 mm im Durchmesser messenden "Höhlenperle" 115 helle und 115 dunkle Calzitringe, im Einzelnen in abwechselnder Abfolge. Die Dicke der Ringe schwankte zwischen 1/5 bis 15 Teilstrichen.

Sowohl bei den hellen, als auch bei den dunklen Ringen erkennt man von Ring Nr. 1 - 90 eine periodisch wiederkehrende Anlagerungsfolge. Sie fand in der Weise statt, daß auf einigen statistisch gleich dicken Ringen einer oder zwei entweder dickere (bei den hellen Calzitringen) oder dünnere (bei den dunkleren Calzitringen) folgten. Von Ring Nr. 91 - 115 weicht diese periodische Anlagerungsabfolge einer vollkommen wahllosen Verteilung der Ringdicken.

Fügt man im Diagramm, wie es ja auch im Dünnschliff erkennbar ist, einen dunklen und einen hellen Ring zu einem Doppelring zusammen, so erkennt man, daß die Doppelring-Abfolge von der Abfolge der hellen Ringe dynamisch beherrscht wird.

Die Ringdicke nimmt statistisch in Form einer Kurve ab. Diese Kurve entspricht der Verminderung der Dicke des Ringes als Funktion der durch die Anlagerung sich vergrößernden Oberflächeninhaltes der Bauzone bei gleichbleibenden Anlagerungsvolumen. Für diese Erscheinung wird der Ausdruck "volume-control" vorgeschlagen. Es kann daher beim Wachstum der Ringe auf eine statistisch gleichmäßige Calzitzufuhr geschlossen werden.

Die Ringdickenmessungen wurden weiters auf 100 % ergänzt und als Summenkurven in doppellog. Darstellung vorgelegt. Die hellen und die dunklen Calzitringe sowie die Doppelringe erwiesen sich in der Summenkurvendarstellung als eine irreguläre mathematische Progression.

Die Häufigkeitskurve konnte nicht verwendet werden, da darin eine größer werdende Bauzone nicht berücksichtigt ist. Die Darstellung der Häufigkeit täuschte mittels der Häufigkeitskurve somit eine abnehmende Tendenz der ausgefallenen Calzitsubstanz vor, die in Wirklichkeit nicht vorhanden ist.

Die Wahrscheinlichkeitsgraphik nach GAUSS wurde ebenfalls nicht wiedergegeben, da die Meßdaten nicht aus einem vollkommen abgelaufenen Naturvorgang entstammen.

Im Stollen fließt das Wasser von der Einzugsstelle vor-Ort den Stollen entlang dem Mundloch zu und verdunstet oder versickert dort.

Da offensichtlich das Wachstum der Höhlenperlen mit dem Bodenwasser, das als Bringer des  $\text{CaCO}_3$  fungiert, in Zusammenhang steht, wurden auch die Wässer untersucht.

Die Untersuchung wurde von Frau E. CASENSKY, Wien in dankenswerter Weise durchgeführt. Die Wässer wurden im Sommer entnommen. Das einziehende Wasser zeigt: Temp.  $9,2^\circ \text{C}$ ; elektr. Leitf. in Ohm/cm: 2801; pH-Wert: 6,80; Karbonath.  $\text{dH}^\circ$ : 11,48; Bleib. H.  $\text{dH}^\circ$ : 7,98; Chlorid mg/Liter: 4,0; Sulfat mg/Liter: 45,0; Calcium mg/Liter: 64,84; Magnesium mg/Liter: 45,14. Entlang des Fließweges des Wassers von vor-Ort bis zum Mundloch ändern sich die gefundenen Werte stufenweise.

Weiters wurden im Sommer und im Winter Messungen der Luft- und der Wassertemperatur und der Luftfeuchtigkeit im Stollen getätigt. Im Winter zeigte die Außentemperatur vor dem Stollenmundloch  $-9,1^\circ \text{C}$ , vor-Ort zeigte das Instrument  $4,2^\circ \text{C}$ ; im Sommer lagen die entsprechenden Werte bei  $23,0^\circ \text{C}$  und  $9,8^\circ \text{C}$  vor-Ort.

Die Wassertemperatur des Stollenwassers stieg allmählich von  $2,6^\circ \text{C}$  wenige Meter innerhalb des Mundloches bis  $8,2^\circ \text{C}$  vor-Ort. Im Sommer lagen die analogen Werte bei  $9,1^\circ \text{C}$  in der Nähe des Mundloches und  $9,8^\circ \text{C}$  vor-Ort.

Da nun das Wasser das  $\text{CaCO}_3$  zum Ringwachstum liefert und das  $\text{CaCO}_3$  offensichtlich aus den kalkreichen Grünschiefern herausgelöst wurde, stehen die Höhlenperlen mit der Tätigkeit des Bodenwassers in Verbindung.

Eine Anlieferung einer größeren Calzitmenge, die sich in einem dickeren Calzitring am Ooid bemerkbar macht, wird dann wahrscheinlich sein, wenn die Voraussetzungen zur Herauslösung des  $\text{CaCO}_3$  aus den kalkreichen Ton- und Grünschiefern der Umgebung des Stollens besonders günstig sind.

Dies wird besonders im Sommer auftreten, da im Winter ja der Niederschlag zumeist als Schnee fällt und eine Frost- oder Schneedecke den Stollen gegen das Eindringen von reichlicherem Wasser absichert. Die kalte Jahreszeit setzt zudem die Lösungsfreudigkeit der Bodenwässer herab.

Im Sommer werden durch langanhaltende Regenfälle, die in Wärmeperioden fallen, diese Bedingungen optimal sein. Länger anhaltende Regenfälle, die um die Monatswende auftreten, werden in der Klimastatistik, da eine längere Regenperiode z. T. in den Vormonat fällt, nicht sonderlich aufscheinen. Dasselbe gilt für die Temperatur.

Da der Fundort der Höhlenperlen noch meteorologisch zum Grazer Becken gehört, übernahm der Verfasser die seit dem Jahre 1864 aufgezeichneten in KLEIN (1909, S. 192, 194), in den JAHRBÜCHERN der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien (1904 ff) und in persönlichen Aufzeichnungen von Herrn Dr. W. FRIEDRICH, Wien, niedergelegten Niederschlags- und Temperaturwerte des Grazer Beckens.

Trägt man die Monatssumme, bzw. das Monatsmittel von Niederschlag und Temperatur in Einzeldiagrammen zusammen, so kann man, indem man die Jahreszahlen beider Darstellungen zur Deckung bringt, die Kurvenspitzen herauschälen, die warme und regenreiche Sommermonate aufzeigen. Diese Kurve kann man nun mit der Darstellung der Ringdicke zur Deckung bringen.



Bei dem Versuch muß aber eine geringe Verschiebung toleriert werden, da durch die syngenetische Erosion an den Höhlenperlen (siehe Auskeilen von Ringen) bei einer Verschiebung der Meßlinie auch eine Verschiebung der Ringnummer eintreten muß.

Kalkuliert man diese seitliche Verschiebung ein, so gewinnt eine Übereinstimmung der Ringdicke mit jenen warmen und feuchten Sommermonaten Gestalt, bei denen die Temperatur- und Niederschlagswerte über  $18^{\circ}\text{C}$ , bzw. bei mehr als 120 % des 50-jährigen Jahresmittels liegen.

In der klimastatistischen Zusammenfassung erkennt man, daß im Grazer Becken die Niederschlagsmenge errechnet aus dem Mittel der Jahre 1864 - 1903 858 mm betrug und auf 882 mm, dem Mittel der Jahre 1901 - 1950 anstieg. Für die gleichen Zeiträume wurde die Temperatur errechnet, sie fiel von  $9,2^{\circ}\text{C}$  nach  $8,6^{\circ}\text{C}$  ab.

Es ist nun bemerkenswert aufzuzeichnen, daß die einheimische Bevölkerung der genannten Gegend übereinstimmend erzählt, daß seit etwa 25 Jahren (vgl. die periodische Dickenabfolge der Ringe von Ring Nr. 1 - 90 und die wahllose Dicke der Ringe von Rind Nr. 90 - 115) das frühere Klima in Gestalt eines schneereichen, kalten Winters und warme trockene Sommer sich zu einem Klima eines undeutlich gemäßigten, erst relativ spät eintretenden, aber schneearmen Winters und kühlen, feuchten Sommers geändert hat.

Die geringe Schneedecke, etwa 40 cm, im Gebiet des Fundortes der Höhlenperlen verschob sich in den letzten Jahren gegen das Frühjahr und trug vielleicht dazu bei, die jeweilig in den Boden eindringenden Wassermengen zeitlich zu verschieben. Damit im Zusammenhang wäre eine Änderung der zugeführten Calzitmenge eingetreten.

Über die gesamten Ringe hinweggemessen ergibt sich in der abgelagerten Ringsubstanz 57,77 % helle und 42,23 % dunkle Calzitmasse.

Hinsichtlich etwa vorhandener Mikroorganismen wurden die Oberflächen der Höhlenperlen nicht untersucht. In dem Stollen finden sich häufig die Höhlenheuschrecke *Troglophilus cavicola* und *Nelima aurantiaca*, ein Weberknecht, sowie eine nicht bestimmte Fledermaus.

Die Untersuchungen wurden vorerst nur an einem Untersuchungsobjekt durchgeführt. Es ist daher nicht zu beweisen, ob tatsächlich die erhaltenen Resultate die gesamte Situation im "Taubennest" repräsentieren.

Es ist aber die einhellige Meinung aller an dieser Untersuchung Beteiligten, daß es sich bei den rhythmischen Ausfällungen an den Höhlenperlen offenbar abwechselnd um eine Sommer- und eine Winterschicht handelt, wobei die helle Ringsubstanz scheinbar die Sommer- und die dunkle Ringsubstanz scheinbar die Winterschicht darstellt.

Wird man nun bei weiteren Untersuchungen ein statistisch gefestigtes Resultat erreichen, so kann man in den Sommer- und Winterschichten der Höhlenperlen ein Abbild der klimastatistischen Situation sowohl des Stollens, als auch der Stollenumgebung erblicken. Somit kann man auch diese Untersuchungsmethode und diese Ergebnisse mit Erfolg auf fossile "Höhlenperlen" und darüber hinaus auf fossile Ooide und Oolithe übertragen.

Für Untersuchungen an geologischen Objekten, die durch keinerlei Fossilien ausgestattet sind, ergibt dieses Untersuchungsweise, entstanden aus "Methoden der Datierung... der Ablagerung von Höhlensedimenten" oftmals dringend benötigte Aussagen.

Umfangreichere Angaben sind in KIRCHMAYER (1961) angeführt. Der Verfasser untersuchte die "Höhlenperlen" während seines Aufenthaltes am mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Wien. Er schuldet dem Leiter des Institutes, Herrn Prof. DDr. H. WIESENEDER ergebensten Dank. Weiters ist der Verf. den Herren Prof. Dr. F. MACHATSCHKI, Prof. Dr. H. ZAPFE, Prof. Dr. W. KÜHNELT, Dr. H. NEMENZ, Dr. W. FRIEDRICH, alle Wien, zu großem Dank verpflichtet.



Literatur:

- FLÜGEL H., Geschichte und Ausdehnung und Produktion der Blei- und Zinkabbaue des Grazer Paläozoikums. - Berg. u. Hüttenm. Mh., 97. Jg. H. 4, S. 61-67, 1952.
- FLÜGEL H., u. MAURIN V., Geschichte und Ausdehnung und Produktion der Blei- und Zinkabbaue des Grazer Paläozoikums. - II, Berg- und Hüttenm. Mh., 97. Jg. H. 4, S. 227-234, 1952
- HOLMES, C. D., Evolution of till-stone shapes, central New-York. - Bull. geol. Soc. America, 71, Nr. 11, S. 1645 - 1660, 1960.
- KIRCHMAYER M., Zur Untersuchung rezenter Ooide. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 1961
- KLEIN R., Klimatographie von Österreich, III, Klimatographie von Steiermark-Wien 1909.
- SETZ W., Die Erzlagerstätten der Gegend von Deutsch-Feistritz-Peggau Frohnleiten, Übelbach und Thalgraben. - Z. prakt. Geol., 10, S. 357-378, 393 - 414, 1902.

Diskussion.

- HABE: Auch im Höhlensystem von Predjama im Slowenischen Karst befinden sich im Velika dvorana (Großer Dom) große Mengen von Höhlenperlen, die im Rudistenkalke entstanden sind. Es wäre interessant, Höhlenperlen von den verschiedenen Fundorten untereinander zu vergleichen. Im Höhlensystem von Predjama haben wir gerade an der Fundstelle der Höhlenperlen mit einer großen Temperaturdifferenz zwischen Winter und Sommer zu rechnen.
- KIRCHMAYER: In geologischen Formationen finden sich auch Oolithe, auch Rogensteine genannt. Diese treten oft zusammen mit Fossilien auf. Die Höhlenperlen, das Wachstum und die Bildungsbedingungen können genau studiert werden. Dadurch ist es möglich, die Bildungsbedingungen der fossilen Oolithe abzuleiten. Diese Bedingungen ergeben mit den Aussagen der Fossilien noch besser fundierte Daten. Höhlenperlen finden sich in fast allen Höhlen Österreichs.
- BLEICH: Kalkooide bilden sich heute in warmen Wässern der Flachsee, aber unter Bedingungen, die mit denen der Höhlen nicht vergleichbar sind. Als rezentestes Beispiel mögen die Bermudas-Inseln genannt werden, in der Geologie sind aus Südwestdeutschland die Brenztaloolithe bekannt.
- FRANKE: Da Stalagmiten auf ähnliche Bildungsbedingungen zurückgehen wie die Höhlenperlen, ist anzunehmen, daß ihre Streifenfolgen miteinander vergleichbar sind. Die schönen Ergebnisse der Arbeit von Kirchmayer legen es nahe, ähnliche Untersuchungen an Stalagmiten zu machen, die definiertere Bildungsbedingungen als Höhlenperlen bieten.



SEKTION I

Г.А.МАКСИМОВИЧ

ПОДЗЕМНЫЕ КАРСТОВЫЕ ОЗЕРА

В горизонтальных, наклонных, вертикальных пещерах, а также карстовых колодцах и шахтах, в углублениях на дне иногда наблюдаются скопления воды, которые обычно называют озерами. Происхождение впадин подземных озер различно.

Озера горизонтальных и наклонных пещер. Вначале вся подземная пустота, или во всяком случае, ее нижняя часть занята водным потоком. Это стадия подземной реки. Переход в стадию подземных озер происходит по-разному /2/. В интенсивно поднимающихся районах водный поток в наклонных пещерах на пути от наивысшей точки к низшей может представлять ряд расположенных один ниже другого уровней, или бьефов, и образовать несколько водопадов. В местах падения воды у подошвы уступа образуются эрозионные котловины проточных озер типа комбет, названного по подземной реке Крмбет во Франции, где имеется 10 водопадов и два таких озера /рис. I, I/. Иногда, как озеро Каду, в пещере Берже, наряду с эрозионными котловинами и водопадами могут быть и озера с коррозийными котловинами /рис. I, П/.

По мере поднятия карстующегося массива все большее и большее количество воды уходит в трещины. Трещины расширяются химическим и механическим действием воды. Увеличивается количество карстовых вод, которые текут под пещерой.

Обвалы кровли, пещерная глина, а иногда песок и галька могут создавать запруды на пути пещерной реки. Образуются плотинные озера, деветашского типа /рис. I, Ш/, названного по одноименной пещере в Болгарии.

## Основные стадии развития пещер

Вода, находящаяся в зоне горизонтальной циркуляции, перемещаясь по трещинам в карстующихся породах, расширяет их растворением и размыванием. Первая стадия образования пещер это - трещинная. Постепенно из трещин образуются щели различной ширины. Это - Щелевая стадия /рис. 1-I, II/. По мере увеличения ширины трещин, все большее и большее количество карстовых вод устремляется в более широкие щели.

Карстующиеся горные породы неоднородны, и на различных участках щели растут с разной быстротой. Наибольший рост наблюдается там, где имеются самые чистые разности известняков, гипсов и других карстующихся пород. Наличие нерастворимого осадка в виде частиц глины и песчинок замедляет карстование.

В более широких щелях вода встречает наименьшее сопротивление в виде трения о стенки. Турбулентное движение здесь происходит быстрее, и все большие массы воды устремляются в них из трещин и щелей меньших размеров. Так постепенно некоторые системы сообщающихся трещин, направление которых совпадает с направлением подземного стока карстовых вод, развиваются быстрее и стягивают все большее количество воды. За счет турбулентного движения карстовых вод путем расширения коррозией и эрозией из щелей возникают каналы различного поперечного сечения. Иногда каналы имеют вид эллипсиса, но чаще очертания их неправильны. Это - каналовая стадия развития пещер /рис. I, III/.

Первоначально поток карстовых вод занимает все поперечное сечение каналов. Постепенно, по мере увеличения размеров этих каналов, вначале на отдельных участках, а затем и на большей части протяжения, карстовых вод периодически уже недостаточно, чтобы занять все поперечное сечение. В верхней части остается пространство, незаполненное водой. Здесь находится воздух. Это наблюдается в зимнее время и летом, когда карстовых вод мало. В весеннее время, летом и осенью во время дождей канал заполнен напорной водой.

Стекающая по каналу вода попадает либо в поддолинные подрусовые пустоты, либо в отложения в русле реки. Когда район, где находятся такие подземные карстовые каналы, за счет движения земной коры, начнет подниматься, река будет все глубже врезаться в свое дно. Наконец наступит момент, когда транзитная река вскрыет карстовый канал. Текущие по нему под напором воды получают выход на дне реки или по её берегу. Появится карстовый источник. В западноевропейской литературе в зависимости от наличия или отсутствия напора разли-

чают раннюю фреатическую или напорную эпоху развития пещер и более позднюю вадозную или безнапорную /4,5/. В СССР это деление не применяется.

Подземная река, которая течет по каналу, приносит большие массы воды. Их куда больше, чем в роднике, вытекающем из песков или песчанников. Такие карстовые источники, дающие часто не литры, а кубические метры в секунду называются воклюзскими или исполиновыми. Более подробная характеристика исполиновых источников приведена в статье автора "Классификация родников по дебиту и карстовые источники". Первое наименование происходит от департамента Воклюз на юге Франции, где источники вытекающие сразу в виде подземной реки, были раньше всего описаны. Это - воклюзовая стадия развития пещер /рис. I, IV/.

Каналы некоторых исполиновых источников сейчас изучаются спелеологами, которые проникают в них в водолазных костюмах с соответствующими приспособлениями. Это позволяет познать пещеры в раннюю стадию их образования. В Южнословацкой карстовой области в Чехословакии пещера Гомбасек, знаменитая своими 2,5-3 метровыми сталактитовыми трубочками, была открыта путем искусственного понижения уровня исполинового карстового источника.

Подземный канал не все время занят исполиновым источником. Если поднятие карстового района продолжается, то выход его становится все выше над уровнем воды в реке, в долине которой он вытекает. Поток карстовых вод размывает дно подземного канала. Кроме того, все большее количество воды начинает уходить по трещинам вглубь, где постепенно на более низком уровне трещины превращаются в щели, а затем в канал. Образуется вначале пещера с рекой или ручьем, затем пещера с подземными озерами, и, наконец, сухая пещера, где только после дождей в некоторых местах со сводов капает вода. Озерная стадия развития пещер была нами ранее охарактеризована /2/. Воклюзовая стадия сменяется натечно-осыпной. Когда по пещере еще течет река, в ней возникают натечные образования. Это - сталактиты, сталагмиты, сливающиеся иногда в сталагматы или колонны, натечи на стенах пещер, оолиты, пизолиты /рис. 2/.

При переходе пещеры из речной в озерную стадию по берегам их может образоваться кальцитовое обрамление, а на выступах дна - кальцитовые кружева. Иногда на сталактитах, находящихся в воде, также возникает кальцитовое обрамление, которое при колебании уровня воды озера может быть на разных высотах.

Кроме подземной натечной аккумуляции, происходит обрушение сводов пещер. Образуются каменные осыпи, а под органическими трубами



могут возникнуть и земляные. В пещере накапливается и материал другого происхождения - отложения подземных озер и рек, биогенные и т.д.

Натечно-осыпная стадия сменяется обвалью-цементационной. При неглубоком залегании пещеры возможно вскрытие ее путем провалов потолка. Могут возникнуть карстовые окна, туннели, мосты, арки. При более глубоком залегании происходят только обвалы сводов. Обломки цементируются кальцитом /или гипсом/.

Новое поднятие района пещеры и возобновление глубинной эрозии приведет к появлению еще одного этажа и т.д./рис. I, VII/.

Мы рассмотрели образование многоэтажной пещеры. При наличии одного этажа дальнейшие стадии отпадают. В гипсовых пещерах обычно нет натечных образований /за исключением льда/ и т.д.

На рис. I, вместо стадий В.М. Девиса /5/ - ранней, зрелой, сухой и пенеплена, даны легко отличимые морфологические и гидролого-гидрогеологические признаки, характеризующие различные этапы развития пещер. В каждую новую стадию появляются новые скульптурные или аккумулятивные формы или гидрогеологические особенности. В следующую стадию некоторые из них сохраняются, но появляются новые, которые и являются отличительной особенностью стадии.

Хотя на схеме /рис. I/ показаны горизонтальные карстующие отложения, обычные в осадочном чехле платформ, речь идет вообще об эволюции горизонтальных пещер. Они обычно образуются в зоне горизонтальной циркуляции, а с ростом подземных полостей и переходной. Эта зона имеет место в складчатых горных сооружениях. Пещеры с примерно горизонтальными ходами имеются в Пермской области и на Урале в карстовой провинции внешней складчатой зоны. Для них рассмотренные основные стадии также имеют место. Чаще здесь образуются одноэтажные пещеры. Некоторой особенностью являются наличие наклонных участков пещеры, обычно образующихся по поверхностям напластования.

Основные стадии развития пещер нами рассмотрены для случая поднимающегося участка карстового массива, где поднятия чередуются с остановками или даже опусканием, когда вырабатываются этажи пещер и происходит синхронная боковая эрозия рек с образованием аккумулятивного комплекса террас.

В древних этажах пещер, которые начали формироваться в третичном периоде, при опускании наблюдается заполнение пещер глиной, принесенной с поверхности. Во время последующего поднятия или при увеличении количества воды поступающей в древние пещерные ходы с поверхности, происходит вынос накопившихся глинистых и других отложений. Если эти глинистые отложения были покрыты сверху кальцитовым натечным покровом, то при выносе песчано-глинистого материала

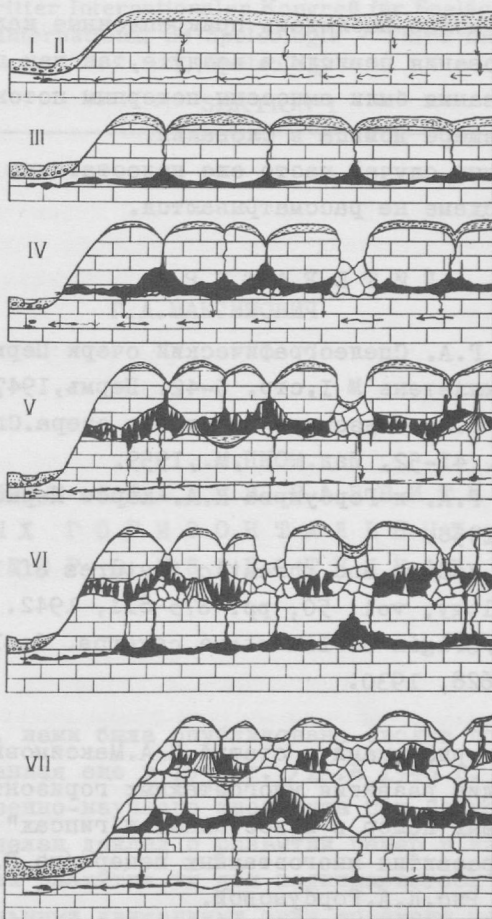


Рис. 1.

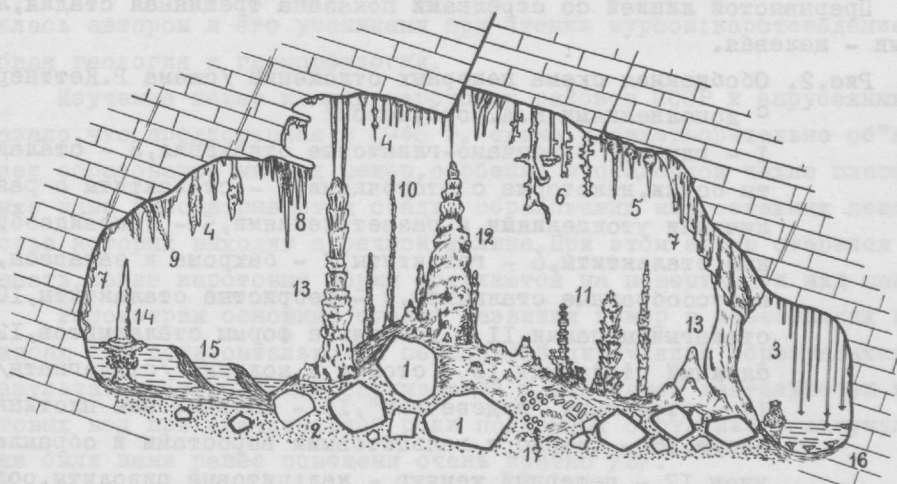


Рис. 2.

водой, у стен пещер можно наблюдать прикрепленные кальцитовые щиты. Эти натечные образования повисли в воздухе, так как подстилавшие их наносные образования были вынесены пещерным потоком. Такие щиты автор наблюдал в пещере Домица в Словакии.

Подобные сложные случаи, часто еще недостаточно изученные, в предложенной нами схеме не рассматриваются.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Максимович Г.А. Спелеографический очерк Пермской области. Спелеологический бюллетень № 1, стр. 5-42. Пермь, 1947.
2. Максимович Г.А. Подземные карстовые озера. Спелеология и карстование. Стр. 41-52, Изд. МОИП, М., 1959.
3. Максимович Г.А. и Горбунрова К.А. Карст Пермской области. Стр. 30-40, Пермь, 1958.
4. Bretz J.H., Vadose and phreatic features of limestone caverns. Jour. Geology, vol. 50, pp. 675-811, 1942.
5. Davis W.M., Origin of limestone caverns. Geol. Soc. America Bull. 51, pp. 475-628, 1930:

Подписи под рисунками в статье Г.А.Максимовича

"Основные стадии развития многоэтажных горизонтальных карстовых пещер в известняках и гипсах"

Рис.1. Схема развития многоэтажных пещер /по Г.А.Максимовичу, 1946/. Рис.К.А.Горбуновой.

Стадии: I, II - Трещинная и щелевая, III - каналовая, IV - воклюзовая, V - натечно-осыпная, VI - обвальное-цементационная, VII - двухъярусная.

Прерывистой линией со стрелками показана трещинная стадия, линиями - щелевая.

Рис.2. Обобщенная схема пещерных отложений /схема Р.Кетнера с дополнениями К.А.Горбуновой/

I - глыбы, 2 - песчано-глинистые отложения, 3 - сталактиты бочки, некоторые с оторочками, 4 - сталактиты с различными утолщениями и разветвлениями, 5 - луковичеобразные сталактиты, 6 - геликтиты, 7 - бахрома и занавесы, 8 - конусообразные сталактиты, 9 - ребристые сталактиты, 10 - сталагмиты палки, 11 - различные формы сталагмитов, 12 - сложный сталагмит, 13 - столбы и колонны /сталагматы/, 14 - сталагмит "подсвечник", 15 - кальцитовые плотинки озера, 16 - озерко с кальцитовыми выростами и обрамлением, 17 - пещерный жемчуг - кальцитовые пизолиты, оолиты.

Г.А.МАКСИМОВИЧ

ОСНОВНЫЕ СТАДИИ РАЗВИТИЯ МНОГО-  
ЭТАЖНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КАРСТО-  
ВЫХ ПЕЩЕР В ИЗВЕСТНЯКАХ И ГИПСАХ

В 1947 г. нами была опубликована сводка по пещерам Пермской области, написанная еще в 1941 г. /1/. В 1946 г. на научной конференции Естественного-научного института при Пермском университете автором был сделан доклад о развитии пещер в известняках и гипсах. Основные стадии развития их для поднимающегося участка земной коры с колебательными движениями были выделены на основе морфологических и гидролого-гидрогеологических признаков. Составленная при этом схема развития карстовых пещер около пятнадцати лет использовалась автором и его учениками при чтении курсов: карстование, общая геология и геоморфология.

Изучение пещер многих карстовых районов СССР и зарубежных показало, что предложенная в 1946 г. схема удовлетворительно объясняет образование многих пещер, особенно в осадочном чехле платформ. Ниже нами рассматриваются стадии образования многоэтажных пещер, устье которых выходит в речной долине. При этом автор старался показать, какие карстовые формы появляются на поверхности над пещерой.

Рассмотрим основные стадии развития пещер в известняках и гипсах зон горизонтальной и переходной циркуляции образующихся в результате растворяющей, размывающей и выносящей деятельности карстовых вод при значительной роли подземных обрушений и аккумуляции. Они были нами ранее освещены очень кратко /3/.

Когда постоянный поток покидает пещеру и переходит вглубь, в нижележащие трещины и пустоты, то только в некоторых углублениях может сохраниться вода, которая проточна. Большая часть ее течет по трещинам и пустотам ниже пола пещеры и только в углублениях виден выход этого подпещерного потока. Озеро представляет как-бы окно в подпещерном потоке карстовых вод.

Стадия подземнопроточных озер кунгурского типа /рис. I, V/ известна для пещер в гипсе и в известняках. Кунгурская ледяная пещера находится в этой стадии.

Когда зона горизонтальной циркуляции карстовых вод еще больше углубится в массив карстующихся пород, исчезнут и подземные проточные пещерные озера. Тогда возможно только скопление воды в углублениях, выполненных пещерной глиной, которая создала водоупорное ложе. Непроточные аккумулятивно-котловинные озера известны в Кизелоской пещере в СССР. Это - кизеловский тип /рис. I, VI/.

Избыток воды в непроточных озерах удаляется не только испарением. Часть воды просачивается вглубь по трещинам на участках дна пещеры, лишенных глинистого покрова. Наконец, когда вся поступающая сверху вода начинает просачиваться глубже, не задерживаясь в углублениях дна, исчезают и непроточные озера пещеры, находящейся уже довольно высоко над зоной горизонтальной циркуляции.

Такова в основных чертах эволюция пещерных озер в зоне горизонтальной и нижней части зоны вертикальной нисходящей циркуляции. Однако, в зависимости от местных геологических, литологических, геоморфологических и климатических условий, в деталях она может протекать по-разному. Переход от стадии подземного потока к озерной стадии в разных пещерах также происходит по-разному.

Озера карстовых шахт, колодцев, вертикальных пещер. Пещерные озера могут образоваться не только в зоне горизонтальной /циркуляции. Они известны и в зоне вертикальной нисходящей циркуляции в вертикальных пещерах, колодцах и шахтах. Озера эти бывают двух типов. Одни представляют углубления на дне вертикальных карстовых пустот с глинистым дном, заполненные поступающей сверху водой. Это аккумулятивные котловинные озера /рис. I, VII/. В других случаях - это выход подземных карстовых вод, часто зоны горизонтальной циркуляции, вскрытой вертикальными пустотами. Это подземно-проточные озера типа мадохи /рис. I, VIII/. Через колодцы и шахты путем поглощения происходит питание карстовых вод.

Карстовые колодцы, имеющие особенное значение в водоснабжении Юкатана, также делятся мексиканцами на две основные группы: агуада, на дне которых имеется озерко, не связанное с горизонтом подземных



вод, - наш аккумулятивный тип, и сеноте, связанные с карстовыми водами, - наш подземнопроточный тип.

Подземные минеральные озера гидротермокарста. Особую группу представляют подземные озера, питающиеся подземными водами, поступающими снизу. Это чаще всего термальные, углекислые или другие минеральные воды. Примером может явиться озеро с минеральной водой на дне Пятигорского провала.

Подземное озеро с минеральной водой находится в Бахарденской пещере в СССР.

В Збрашавской арагонитовой пещере /Чехословакия/ имеются несколько озер с поступающей снизу водой, насыщенной углекислотой /рис. I, IX/.

Генетическая классификация рассмотренных подземных озер приведена в таблице I.

Таблица I.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ КАРСТОВЫХ ОЗЕР  
/по Г.Максимовичу, 1960/

Зоны циркуляции	К а р с т			Гидротермо- карст
	Пещеры			
	Горизонталь- ные	Наклонные	Вертикальные	С минеральны- ми водами
Вертикаль- ной нисхо- дящей			Аккумулятив- ные котловинн- ные	
Подвешенной - реликта горизонталь- ной с пото- ком	Плотинные проточные- Домица. Подземно- проточные- Кунгурский. Котловинно- аккумулят.- Кизеловский			
Переходной и горизон- тальной	Плотинные проточные- Деветашский	Эвразий- ные про- точные- Комбет. Коррозион- ные котло- винные	Подземнопро- точные - Мацоха	
Вертикаль- ной восходя- щей				Пятигорский Бахарденский Збрашавский

Подземные озера различного происхождения встречаются в десятках и сотнях карстовых пещер, колодцев и шахт. Это позволяет считать, что выделенная автором озерная стадия развития пещер вполне обоснована.

# ЛИТЕРАТУРА

1. Максимович Г.А. Подземные карстовые озера. Спелеология и карстоведение, изд. МОИП, Москва, 1959.
2. Максимович Г.А., Горбунова К.А. Карст Пермской области, Пермь, 1958.

## Подпись под рисунком к статье

Г.А.Максимовича "Подземные карстовые озера"

Рис. I. Типы подземных карстовых озер

Наклонные пещеры: I - Эвразийские проточные типа комбет, II - Корозионные котловинные

Горизонтальные пещеры: III - Плотинные проточные дивеевского типа, IV - плотинные слабо проточные, типа домида /плотины натежные/, V - подземнопроточные кунгурского типа, VI - котловинно-аккумулятивные кизеловского типа.

Шахты, колодцы: VII - аккумулятивные котловинные, VIII - подземнопроточные типа мацоха.

Гидротермокарст: IX - пещеры с восходящими минеральными водами.

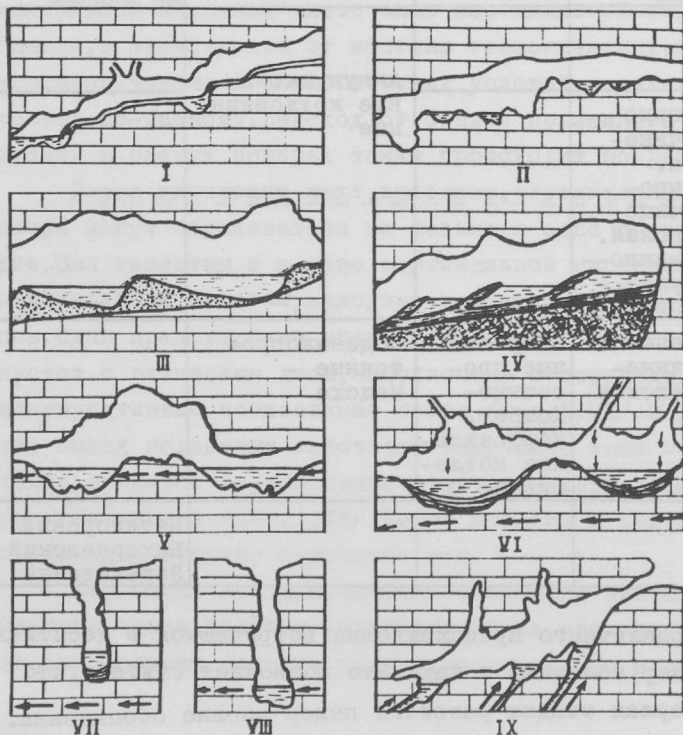


Рис. 1.

György OZORAY

EINIGE GENETISCHE PROBLEME DER HÖHLEN  
IN KARSTGESTEINEN

AN HAND VON BEISPIELEN AUS UNGARN

Bei der Untersuchung der Höhlen Ungarns konnte festgestellt werden, daß die meisten genetischen Höhlentypen sowohl in den zur Verkarstung neigenden als auch in den nicht zur Verkarstung neigenden Gesteinen gleichermaßen vorkommen. Nach András HOFFER kommen Lösungshöhlen auch in Hydroquarzit vor (z. B. auf der Halbinsel Tihany; Fütőhegyer Höhlen bei Legyesbénye). Andererseits kommen Aushöhlungen jener Typen, die nicht an Verkarstungsvorgänge und damit nicht an Karstgesteine gebunden sind, auch in diesen nicht selten vor. Als Beispiele dafür können erwähnt werden: primäre Höhlen (z. B. die Annahöhle bei Lillafüred, die in Kalktuff liegt), Spalthöhlen (sehr häufig), Abrasionshöhlen (Gyenesdiás, Vadlánlik, in obertriassischem Dolomit), Erosionshöhlen (z. B. eine durch Wirbelbildung auserodierte Höhle hinter einem Wasserfall im Kalktuff), Auswitterungshöhlen (ein Teil der kleineren Dolomithöhlen) usw. Besonders häufig ist im Kalk und Dolomit der genetische Typ der Spalthöhle. In einigen der größeren Höhlen Budapests dominiert trotz ihres komplexen Ursprungs der tektonische Spaltcharakter dermaßen, daß es richtiger zu sein scheint, von einer thermal modifizierten Spalthöhle als von einer tektonisch präformierten Thermalhöhle zu sprechen. Dies gilt z. B. für die Höhlen des Pálvölgyer Steinbruches. Auch die berühmten Fossilfundorte bei Csákvár (Höhle Bárcaházi oder Eszterházy) und bei Villány sind Spalten.

Die Ursache dieser Übereinstimmung liegt darin, daß sowohl die präformierenden Faktoren, wie auch die Mehrzahl der höhlenbildenden (höhlengestaltenden) Faktoren bei jeder Gesteinsart wirksam werden können. Die hauptsächlich in Frage kommenden präformierenden Faktoren sind folgende:

- 1) Petrographische Eigenschaften des Muttergesteines. Die intensive Löslichkeit der verkarstungsfähigen Gesteine stellt im Vergleich zu anderen Gesteinen einen grundsätzlichen qualitativen Unterschied dar.
- 2) Lagerung, Schichtung und tektonisches Verhalten des Muttergesteines.
- 3) Spezielle Richtungen und Oberflächen (Gesteinsgrenzen, Schichtgrenzen, tektonische und atektonische Absonderungsflächen usw.)
- 4) Orographische Position. Im Falle der Karsthöhlen erlangen hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse besondere Bedeutung.

Die Karsthöhlen - sowohl thermale als auch normale Karsthöhlen - durchlaufen im Zuge ihrer individuellen Entwicklung häufig, jedoch nicht notwendigerweise, das Stadium der tektonischen Spalthöhle oder eventuell auch den Zustand der primären Höhle, der Abrasions-, Erosions-, Auswitterungshöhle. Diese genetischen Typen entsprechen also in den Karstgesteinen, vor allem im Kalk, prinzipiell dem Typus der tektonischen Spalthöhle, soweit es ihre Stellung im Entwicklungsablauf der Karsthöhle betrifft. Die oben erwähnten Höhlen des Pálvölgyer Steinbruches in Budapest sind demnach in diesem Sinne als "in primitivem Zustande verbliebene" Karsthöhlen anzusehen.

Die Höhlen in den verkarstungsfähigen Gesteinen bleiben aber nur selten in dieser ersten (primitiven) Entwicklungsstufe stecken. Zumeist wird die tektonisch vorgebildete Höhle durch intensiv wirksame Karstvorgänge weiterentwickelt. Zu diesen Karstvorgängen gehören vor allem:

a) die normale Gesteinslösung in kaltem Wasser mit Hilfe von Kohlensäure und Humussäuren. Die Lösung kann entlang der Schichtflächen oder Gesteinsfugen Höhlungen verschiedensten Maßstabes zustandebringen.

b) die Gesteinslösung in Warmwässern, häufig unter Mitwirkung von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  oder anderen chemischen Stoffen, von heißen Dämpfen und Gasen, sowie von anderen physikalischen Faktoren (paramorphe Umwandlung von Mineralen).

c) die unterirdische Erosion mit Hilfe des von der Oberfläche eingeschleppten oder auch an Ort und Stelle produzierten Schuttes. An sich ist die unterirdische Erosion kein Karstvorgang; sie erlangt jedoch nur im Inneren eines Karstmassivs wesentliche Bedeutung. Am deutlichsten wird ihre Rolle in durchlaufenden Bachhöhlen sichtbar, die sich über bedeutende Länge erstrecken; sie setzt dort schon bei der Entstehung des unterirdischen Gewässernetzes ein (JAKUCS, 1956). In diesem Falle folgt also nach der karstischen Phase, die ihrerseits die in der Anfangsphase der Karsthöhlenentwicklung vorhanden gewesenen "nichtkarstischen" Höhlenbildungsfaktoren abgelöst hat, wieder eine "nichtkarstische" Phase. Diese Phase stellt aber nur eine für den in Entwicklung begriffenen Karst kennzeichnende Tätigkeitsperiode nichtkarstischer Vorgänge dar.

Die höhlenbildenden Vorgänge üben ihre Wirkung anfangs entlang jener Linien oder Flächen aus, die durch die "präformierenden Faktoren" gegeben sind. Sie erweitern z.B. die Lithoklase zu einer Höhle, oder sie führen die Erweiterung einer schon vorhandenen Spalthöhle herbei. Später werden sie von der Präformation immer mehr unabhängig und der vorwiegend wirksame höhlenbildende Vorgang verwischt das ursprüngliche Antlitz der Höhle immer stärker.

In eine derartige Entwicklungsreihe können z.B. die Budapester Thermalhöhlen eingeordnet werden. Dort ist ein ursprünglich starr geometrisch angeordnetes tektonisches Spaltennetz von den aufbrechenden Thermalwässern zu einer Folge rundlicher Hohlräume oder zu einem verworrenen Geflecht verschieden breiter Gänge umgestaltet worden. Dieser thermale Vorgang ist in der Höhle bei Sátorköpuszta (Höhleingang 225 m ü.d.M., Sohlenniveau 185 m ü.d.M.) am weitesten fortgeschritten. Dort ist der ursprüngliche strukturelle Charakter der Höhle fast völlig verwischt. Außerordentlich weit fortgeschritten ist der gleiche Prozeß auch in der Höhle Ördöglyuk bei Solymár (Eingang 325 m, Sohlenniveau 280 m ü.d.M.). Die Höhlen bei Ferenchegy (Eingang 256 m, Sohlenniveau 235-240 m ü.d.M.), bei Szemlőhegy (Eingang 217 m, Sohlenniveau ca. 172 m ü.d.M.) und die obere Etage der Mátyáshegyer Höhle (Eingang ca. 203 m ü.d.M.) nehmen eine Mittelstellung ein; in diesen Höhlen ist die thermale Umformung zwar stark, Lösungsvorgänge und Mineralausfüllung haben beträchtlichen Umfang erreicht, doch ist der Spaltennetz-Charakter das Auffallende geblieben. Das Netzwerk der engen, hohen, geradlinig verlaufenden und parallel zueinander ziehenden langen Gänge (Richtungen  $40^\circ$ - $220^\circ$  und  $47^\circ$ - $227^\circ$ ,  $132^\circ$ - $312^\circ$  und  $137^\circ$ - $317^\circ$ ) be-



weist, daß der tektonischen Anlage der Höhle große Bedeutung zukommt. Es handelt sich also um Systeme von Spaltenhöhlen, die thermal stark modifiziert und weiterentwickelt worden sind. Die Höhlen des Pálvölgyer Steinbruches, die Pálvölgyer Höhle (Eingang ca. 205 m ü.d.M.), Harcaszsj und Hideglyuk, sowie die Höhle Bagyura, sind - wie bereits erwähnt wurde - Beispiele für thermal nur geringfügig modifizierte Spaltenhöhlensysteme.

Die angegebenen Budapester Höhlen folgen in der eben wiedergegebenen Reihenfolge von NW nach SO aufeinander; gleichzeitig ergibt sich eine Reihung der Höhe nach - von den höher gelegenen zu den niedriger liegenden - sowie zugleich eine solche nach dem Alter. Thermal am stärksten modifiziert sind die älteren Höhlen, die aus dem Levantin - Altpleistozän stammen, schwächer modifiziert die jüngeren aus dem Pleistozän. Es scheint, daß die Intensität der thermalen Einwirkung auf die Höhlengestaltung auch eine chronologische Aussage ermöglicht.

Die unterirdische Erosion arbeitet gleichfalls darauf hin, das ursprüngliche Bild der Höhle zu verändern. Durch ihre einschneidende, erweiternde und ablagernde, mäander- und terrassenbildende Tätigkeit verändert sie in ähnlicher Weise wie an oberirdischen Wasserläufen die Formen, ja sogar den Verlauf vorhandener Karstgänge. László JAKUCS führt z.B. die Entstehung jener Gangstrecken, die die Siphone umgehen, auf unterirdische Erosion zurück. Die Untersuchung der Erosionsvorgänge in Höhlen ist in letzter Zeit besonders in den Vordergrund getreten.

Bei der Formung von Karsthöhlen spielen auch die Gewölbeformen, die sich im Einklang mit der Standfestigkeit des Gesteines entwickeln, sowie die Schlotte, die durch Deckenstürze nach der Höhe hin wachsen, eine bedeutende Rolle. Beispiele dafür bieten die Tonnengewölbe, die in den künstlichen Höhlen in der Umgebung des Dorfes Diósd beobachtet werden können und die sich infolge der Spannungsverhältnisse im Gestein stets nach oben hin weiterentwickeln. Hubert KESSLER und Eligius R. SCHMIDT haben diese Formen beschrieben, die an der Decke eines unterirdischen Abbaues sarmatischen Cerithienkalkes zu sehen sind.

Demnach folgen im Werdegang der Karsthöhlen in der Regel folgende Entwicklungsphasen aufeinander:

1. Präformative Phase. In dieser Phase überwiegender tektonischer Tätigkeit kommt es bis zur Ausbildung von Spaltenhöhlen.
2. Karstphase. In dieser Phase überwiegt die lösende Tätigkeit; die ursprüngliche Anlage der Höhle wird dabei immer mehr verwischt.
3. Phase überwiegender unterirdischer Erosion. In dieser Phase bildet sich ein unterirdisches Entwässerungsnetz aus. Die Höhlen werden aktive Wasserhöhlen (Baradla- und Béke-Höhle bei Aggtelek). Thermalhöhlen erreichen diese Entwicklungsphase in der Regel nicht, da sie mit unterirdischen Wasserläufen nicht in Verbindung stehen (in der unteren Strecke der Mátyáshegyer Höhle in Budapest sind in der Richtung zum Teiche Spuren unterirdischer Erosion wahrzunehmen).
4. Phase der Weiterentwicklung inaktiver Äste von Höhlensystemen oder herausgehobener Höhlenstockwerke vorwiegend durch Versturz (Hallen- und Dombildung) oder durch Ausfüllung (Tropfsteinbildung usw.). Das Hohlraumvolumen kann sich durch Verstürze freilich nur so lange erweitern, als der Abtransport des Schuttes sichergestellt ist. Andernfalls kann es infolge der lockeren Lagerung der Blöcke sogar zu einer Einbuße an dem vorhandenen Volumen kommen.

Die einzelnen, bei der Höhlenentwicklung wirksamen Faktoren können natürlich auch außerhalb ihrer dominanten Phase wirksam bleiben. Ihre Mehrzahl ist in gegenseitiger Wechselwirkung sogar ständig aktiv.

Ein spezielles genetisches Problem stellt das Aufleben ausgefüllter Höhlen des fossilen Urkarstes dar. Pál Zoltán SZABO, Pál KRIVAN und andere beschreiben Höhlen aus dem Urkarst, die ihrer späteren Ausfüllung nachträglich durch natürliche oder auch vom Menschen ausgehende Einwirkung wieder beraubt wurden.



# Literatur:

1. BERTALAN Karoly, Höhlenkataster Ungarns. (Manuskript).
2. HOFFER András, Die vulkanischen Bildungen der Halbinsel Tihany. Földtani Közlöny, LXXIII., Budapest 1943, p. 375 - 429. (In deutscher Sprache ibid., p. 551 - 564).
3. JAKUCS László, Höhlenentstehung durch Tätigkeit von Thermalquellen. Hidrológiai Közlöny, XXVIII., Budapest 1948, p. 53 - 58. (Englischer Auszug).
4. JAKUCS László, Beiträge zur Morphogenetik des Aggteleker Gebirges und seiner Höhlen. Földrajzi Közlemények, IV., Budapest 1956, p. 25 - 38. (Russische und französische Zusammenfassung).
5. KESSLER Hubert, In den Tiefen der Höhlen. Franklin-Verlag, Budapest.
6. KRIVAN Pál, Mesozoische Verkarstung und karstabdeckende Phasen..., Földtani Közlöny, LXXXIX, Budapest 1959, p. 393 - 401. (Französische Zusammenfassung).
7. LANG Gábor, Tektonische und hydrogeologische Beobachtungen in den Budaer Gebirgen. Hidrológiai Közlöny, XL., Budapest 1960, p. 396 - 397. (Russischer und englischer Auszug).
8. OZORAY György, Genetik der nichtkarstischen Höhlungen auf Grund von Beispielen aus Ungarn. Karszt- és Barlangkutatói Tájékoztató, Budapest, jan.-febr. 1960, p. 4 - 15. (In englischer Sprache im Druck befindlich).
9. OZORAY György, Die mineralischen Ausfüllungen der Thermalhöhlen von Budapest. Karszt- és Barlangkutatói Tájékoztató, Budapest, nov. 1960, p. 471 - 487. (Deutsche Zusammenfassung p. 533-534; in englischer Sprache im Druck befindlich).
10. PAVAI VAJNA Ferenc, Über die Rolle der heißen Lösungen, Dämpfe und Gase bei der Höhlenbildung. Hidrológiai Közlöny, X., Budapest 1930, p. 115 - 122. (In deutscher Sprache in der Fremdsprachenausgabe p. 63 - 69, französische Zusammenfassung).
11. SZABO Pál Zoltán, Klimageschichtliche Beziehungen der Karstformen Ungarns. Földrajzi Közlemények, IV., Budapest 1956, p. 183 - 198. (Französische Zusammenfassung).

Rudolf PIRKER

## TEMPERATURGRADIENT ODER DRUCKGRADIENT - HAUPTMOTOR DYNAMISCHER WETTERFÜHRUNG ?

Im Folgenden sollen einige allgemeine Überlegungen vorgebracht werden, die die Hauptantriebskräfte der Bewetterungsvorgänge in Höhlen zum Gegenstand haben, wobei es schon der begrenzte zeitliche Rahmen verbietet, auf manche Seiten dieser sehr komplexen Materie auch nur andeutungsweise einzugehen.

Wenn der Luftpörper einer Höhle in Bewegung gesetzt wird, ist dazu eine Arbeitsleistung erforderlich. Für die Lieferung der nötigen Energie kommen hauptsächlich in Betracht:

### 1.) Druckgefälle (Druckgradient)

- a) durch direkte Einwirkung: Ausgleichsströmungen zwischen Höhle und Ober- tag bei Luftdruckänderungen;
- b) durch indirekte Einwirkung über die großräumigen Luftströmungen (Gra- dientwind): Winddruck und -sog an den Tagöffnungen.

### 2.) Temperaturdifferenzen (Temperaturgradient)

- a) direkt: Temperatur- und damit Raumgewichtsunterschied zwischen Höhlen- und Außenluft, genauer gesagt zwischen den Mittelwerten einander ent- sprechender Luftsäulen;
- b) indirekt über temperaturbedingten Außenwind (Hangwind, Talwind);

### 3.) Niederschlag

Indirekte Einwirkung über die Spiegelschwankungen von Höhlengewässern.

Die Wirkung dieser Faktoren soll nun, um das Grundsätzliche klarer hervortreten zu lassen, an einem einfachsten Beispiel künstlich geschaffener Räume erläutert werden.

Denken wir uns ein mehrstöckiges, zweizimmertiefes Wohnhaus, dessen Fensterfronten gegen W und O exponiert sind.

Dieses Haus lassen wir zunächst von einer Hochwasserkatastrophe betroffen werden (s. Punkt 3). Die Parterreräume werden überflutet; die Luft wird aus ihnen verdrängt und strömt mit dem Rückgang des Hochwassers wieder ein. Es sei da-

ran erinnert, daß z.B. in der Lindnerhöhle (unterirdischer Reka-Lauf) von BOEGAN Spiegelschwankungen bis 98 m Höhe beobachtet wurden! Die Mengen der bewegten Luft sind trotzdem unbedeutend - sie entsprechen maximal der einmaligen Füllung der Konvaktionsräume -, weshalb dieser Faktor im folgenden außer Betracht bleibt.

Kehren wir zu unserem Haus zurück! Ein Hausbewohner will seine Wohnung gründlich lüften. Er öffnet beiderseite die Zimmerfenster, außerdem eine Verbindungstür, und nun kann sich in den Räumen eine "dynamische Wetterführung" entwickeln. Einseitiger Winddruck preßt die Luft durch die Wohnung von der Luv- zur Leeseite des Hauses, im Falle eines Windes mit einer westlichen Richtungskomponente in W-O-Richtung. Diese horizontale Luftbewegung ist in Richtung und Stärke abhängig vom Außenwind und damit vor allem von der Großwetterlage und dem herrschenden Druckgradienten, aber unabhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft. Diese wird sich nur darin bemerkbar machen, daß der Luftstrom bei relativ kalter Außenluft söhlig, bei warmer Außenluft längs der Decke streicht.

Das ändert sich in zwei Grenzfällen; a) bei reinem N- oder S-Wind, wenn kein einseitiger Überdruck besteht; b) bei völliger Windstille, also bei ausgeglichener Wetterlage mit ganz flacher Druckverteilung. Dann wird sich die thermische Situation bemerkbar machen können, es werden bei genügendem Temperaturgefälle lokale Konvektionsströmungen entstehen, vielleicht auch durch die Wohnung hindurch zwischen der besonnten und der Schattenseite des Hauses.

Nun gibt es in dieser Wohnung noch ein zweites dynamisches Bewetterungssystem. Im Zimmer steht ein Ofen mit Kaminanschluß. Durch Heizen kann ein Temperaturgradient erzeugt werden, der im Kamin eine Strömung hervorruft, die --hoffentlich!-- unabhängig ist von der Windrichtung, von Richtung und Größe des Druckgradienten; höchstens kann stärkerer Wind durch Sogwirkung die aufsteigende Strömung im Kamin unterstützen. Diese vertikale Wetterführung ist also in ihrer Intensität wesentlich, in ihrer Richtung ausschließlich bestimmt durch die Temperaturdifferenz, bzw. den Dichte- und Raumgewichtsunterschied entsprechender Gassäulen im Kamin und in der Außenluft.

Machen wir nun folgendes Gedankenexperiment: Vergrößern wir das Haus, zunächst in der Horizontalen. An die Stelle zweier Zimmer trete eine lange Zimmerflucht, die aber in gleicher Weise durchlüftet wird. Die Wetterführung wird durch einseitigen Winddruck in Gang gebracht, dessen Energie beim Durchströmen der Räume "verbraucht" wird. Je länger der Wetterweg, desto schwächer wird die Strömung.

Denken wir uns ferner das Haus in der Vertikalen vergrößert, zum Hochhaus gestreckt. Ein Kamin ist, technisch gesprochen, eine Kraftmaschine<sup>1)</sup>; der darin wirksame Treibdruck berechnet sich aus der Raumgewichtsdifferenz zwischen Innen- und Außenluft mal der Höhe. Je höher also der Kamin, desto besser zieht er. Je größer die Vertikalerstreckung, desto kräftiger wird die Wetterführung, oder desto geringere Temperaturunterschiede sind nötig, um eine Wetterbewegung hervorzurufen.

Die angeführten Gesetzmäßigkeiten müssen auch in Höhlen Geltung haben, wenn auch die Verhältnisse dort naturgemäß viel komplizierter liegen als in dem betrachteten Wohnhaus. Höhlen sind weder durch, noch für die Wetterführung geformt. Der starre, überaus unregelmäßige Gesteinsrahmen zwingt dem Wetterstrom einen vorgegebenen Weg auf, schafft durch Wechsel der Gefällsrichtung, Abwinkelungen und fortwährende Änderungen der Profilweite sozusagen verkrampfte Bedingungen und verursacht damit zweifellos eine Fülle nur schwer erfassbarer Abweichungen von den einfachen Regelverhältnissen. Immerhin kann man aus den bisherigen Überlegungen folgende Erwartungen ableiten: Vorwiegend horizontale dynamisch bewetternde Höhlen, vor allem annähernd geradlinig verlaufende Durchgangshöhlen, werden eine besondere Anfälligkeit für die Einflüsse der Großwetterlage und des Außenwindes haben, und zwar kleinere mehr als größere. In vorwiegend vertikal verlaufenden Höhlen wird da-

1) Vgl. SCHUMACHER Ernst, Strömungsvorgänge in Feuerstätten und Schornsteinen. 2. Aufl., München 1952 S. 11 ff.

gegen eine eigenständige, hauptsächlich von den lokalen Temperaturdifferenzen abhängige Wetterführung vorherrschen, in größeren stärker und ausschließlicher als in kleinen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß auch in der freien Atmosphäre Horizontalbewegungen von Luftmassen vorwiegend durch Druckunterschiede, Vertikalversetzungen hauptsächlich durch Temperaturunterschiede ausgelöst werden. In Höhlen mit unregelmäßigem Schrägverlauf oder Zusammentreten von Vertikal- und Horizontalstrecken sind beiderlei Einwirkungen zu erwarten, die sich gegenseitig überlagern, verstärken, schwächen oder aufheben.

Wie kann nun dieses Wechselspiel der Wirkungen in der Praxis beobachtet werden, an welchen Meßwerten tritt es in Erscheinung?

Es besteht leider der unerfreuliche Zustand, daß bei den größeren dynamisch bewetternden Höhlen, von denen längere Meßreihen vorliegen, nur eine Tagöffnung mit einem anschließenden Teil der Wetterwege bekannt ist. In vielen Fällen wird sich daran auch in Zukunft nichts ändern, denn wenigstens für die alpinen Höhlensysteme gilt der Begriff des "karsthydrographischen Gegensatzes" (nach O. LEHMANN), der eine Verästelung der Wasser- und jetzigen Wetterwege nach oben hin in zahlreiche unbefahrbare enge, einer direkten Kenntnissnahme entrückte Spalten beinhaltet. Daher können manche für die Beurteilung der Wetterwege und ihrer Dynamik wichtige Werte (Kubikinhalte der vom Wetterstrom erfaßten Luftmasse, ihre Durchschnittstemperatur und relative Feuchte, Gesteinstemperaturen usw.) zum Teil nicht gemessen und für das Höhlenganze errechnet, sondern nur hypothetisch geschätzt werden. Will man miteinander vergleichbare Aussagen über verschiedene Höhlen machen, dann wird man sich bei dem heutigen Forschungsstand zunächst auf einige einfachste, überall leicht zu beobachtende Tatsachen beschränken müssen. Solche sind: Richtung (und Stärke) des Höhlenwetterstromes; Richtung des Außenwindes; dazu die synchron gemessene Außentemperatur vor dem bekannten Höhleneingang. Bereits aus diesen wenigen Feststellungen sind Rückschlüsse auf die Antriebskräfte der Wetterführung möglich.

Würde die Wetterführung einer Höhle ausschließlich von der Großwetterlage und den großräumigen Bewegungsvorgängen in der Atmosphäre abhängen, dann müßte bei jeder beliebigen Außentemperatur sowohl Wetterruhe wie auch Wetterführung in jeder der beiden Richtungen auftreten können. Mit anderen Worten: Inversions- und Wetterstockungsbereich wären so weit wie die gesamte Schwankungsbreite der Außentemperatur. Dieser Fall liegt zweifellos vor bei kleinen horizontalen Durchgangshöhlen, die Bewetterungsverhältnisse unterscheiden sich hier kaum von der früher betrachteten Wohnungsdurchlüftung. Als Beispiel sei der "Steinerne Stadt" auf der Steirer neben bei Bad Fischau (NÖ) genannt (s. das Schaubild in Abb. 1), eine mit 20 m Länge eine Felsrippe durchziehende Durchgangshöhle, bzw. eine breite Naturbrücke von 26 m Bogen Spannweite.

Nehmen wir nun an, die Wetterführung wäre ausschließlich eine Funktion des Temperaturgradienten zwischen Höhle und Obertag. Dann müßte, unabhängig von den obertägigen Windverhältnissen, gleichen Temperaturdifferenzen zwischen dem Höhlenmittel und der entsprechenden Außenluftsäule gleiche, zumindest gleichgerichtete Wetterbewegung entsprechen. In einem schmalen Bereich um den Gleichpunkt der Außen- und Innentemperatur würde Wetterstockung herrschen, seine Breite könnte man als Maß der Trägheits- und Reibungswiderstände ansehen. Darüber hinaus würde, je nach dem Vorzeichen der Temperaturdifferenz, in der Höhle Ab- oder Aufwind wehen. Auch dafür ein Beispiel: die Warme Lucke im Gösingberg bei Ternitz (NÖ). Zugänglich ist von diesem engräumigen System, dessen Tagöffnungen am gleichen Berghang in verschiedener Höhe liegen müssen, nur der obere Eingang. Es herrscht strenge Temperaturabhängigkeit: Außentemperaturen unter  $11,2^{\circ}\text{C}$  bedingen in der Höhle Aufwind, über  $12,3^{\circ}\text{C}$  Abwind, dazwischen herrscht Wetterstockung. Lokale Hangwinde können zwar die Intensität des Wetterstromes geringfügig modifizieren oder ihn böig machen; niemals aber beeinflusst der Außenwind seine Richtung, bei keiner Temperaturlage besteht die Möglichkeit beider Richtungen des Wetterstromes. Nun stellt diese Höhle



insofern einen Ausnahmefall dar, als ihre Innentemperatur praktisch konstant ist ( $11,8^{\circ}\text{C}$ ), eine Folge thermaler Heizung. Ohne diese müßte ein gewisser "Inversionsbereich" vorhanden sein, d.h. Außentemperaturen, bei denen bald die eine, bald die andere Wetterstromrichtung auftritt. Die Breite des Inversionsbereiches würde dem Ausmaß der Schwankungen der Innenmitteltemperatur entsprechen müssen.

In der Regel wird aber eine Mischung der Einflüsse eintreten, der Normalfall wird zwischen den beiden eben betrachteten Extremen liegen. Das wird sich in einer über die Schwankungsbreite der Innenmitteltemperatur hinausgehenden Verbreiterung des Inversionstemperaturbandes sowie des Wetterstockungsbereiches auswirken; und diese zusätzliche Verbreiterung wäre eine Maß für die Wirkung anderer Faktoren als der Temperatur auf die Wetterführung. Als Beispiel diene die Dachstein-Eishöhle -- leider liegen nur aus Eishöhlen ausführliche Meßwertreihen vor! Von R. SAAR publizierte Angaben<sup>2)</sup> sind dem Schaubild der Abbildung 1 zugrundegelegt. Aus der Breite des Inversions- und Stockungsbereichs, die die mutmaßlichen jahreszeitlichen Schwankungen der Innenmitteltemperatur überschreiten, könnte man schließen, daß in dieser Höhle zwar die Temperaturspannungen als Treibkraft der Wetterzirkulation verherrschen, daneben aber auch die Großwetterlage, bzw. lokale Gebirgswinde auf die Wetterführung Einfluß nehmen.

Die hier vorgebrachten Überlegungen seien noch einmal kurz zusammengefaßt: Unter einer Mehrzahl möglicher Antriebskräfte einer dynamischen Wetterführung sind die entscheidendsten: einseitiger Winddruck und das Temperaturgefälle zwischen Höhlen- und Außenluft. Welche dieser Energiequellen überwiegt, hängt von der relativen Lage der wetterwegsamten Tagöffnungen zueinander und von der Gestaltung der Höhlenräume ab. Daß der Temperaturgradient umso entscheidender einwirkt, je mehr der Vertikalabstand der Tagöffnung im Verhältnis zu ihrem Horizontalabstand zunimmt, auch je länger der Wetterweg ist, und daß sein vorherrschender Einfluß den Inversionsbereich einengt, kann zunächst nur als hypothetische Annahme ausgesprochen werden. Zu ihrer festen Untermauerung und zur Klärung dieser Fragen sind in Zukunft noch eingehende Beobachtungen in Höhlen nötig, deren gesamter Wetterweg bekannt und zugänglich ist, wie etwa der Frauenmauerhöhle bei Eisenerz oder der Badlhöhle bei Peggau ( beide Steiermark).

Immerhin zeichnet sich schon heute eine Möglichkeit ab, aus einfachsten meteorologischen Meßdaten Rückschlüsse auf den Verlauf unzugänglicher Höhlenteile zu ziehen, so wie man aus Karstquellenbeobachtungen Vorhandensein und Lage unbekannter Höhlenstrecken zu ermitteln versucht.

### Diskussion.

SAAR: Kaum ein Raum einer dynamischen Wetterhöhle der Kalkhochalpen wird vollständig unabhängig von der Außenatmosphäre sein (feine Spalten und Klüfte für Zirkulation).

<sup>2)</sup> Beiträge zur Meteorologie der dynamischen Wetterhöhlen. Mitt.d.Bundes-Höhlenkommission, 1953, S. 4 - 52.



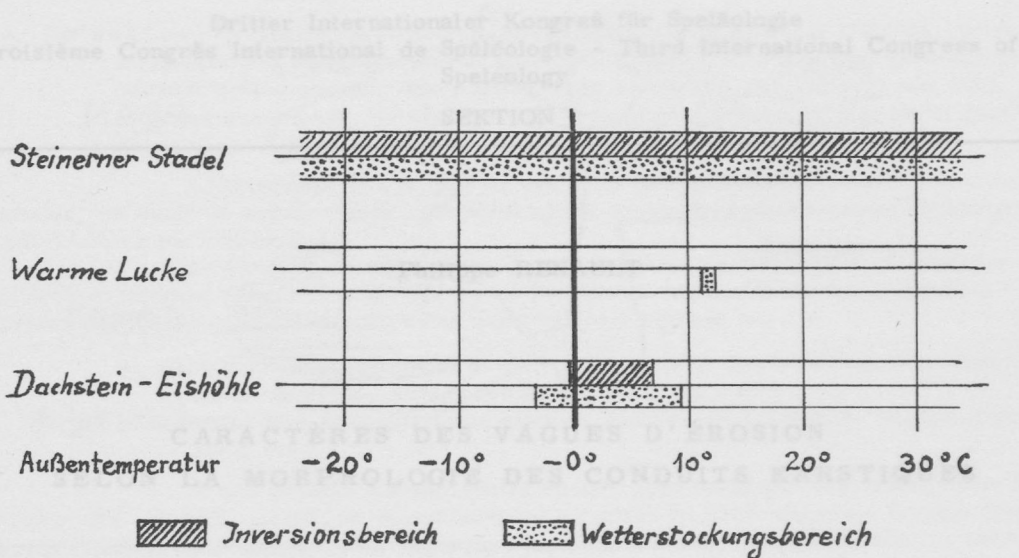


Abb. 1.

Après avoir distingué les deux types de conduits ou formes spéléologiques élémentaires, l'auteur rappelle les caractères des vagues d'érosion et résume les principes suivis dans l'étude morphométrique de cette forme. Il distingue ensuite :

- a- les vagues d'érosion des galeries de creusement descendant, les guidées sur le sol, les parois ou les voûtes, associées à un remblaiement grossier, la roche constituant le paroi étant liée avec filonets de calcite nival. Dans ce type de gisement les vagues sont de petite dimension (largeur moyenne : 3 à 5 cm).

- b- les vagues d'érosion des galeries de creusement remontant, les guidées uniquement sur les parois et la voûte du conduit, la roche formant cette paroi étant terreuse et décomposée, le sol de la galerie étant principalement formé d'éléments fins. Dans ce type de gisement les vagues sont de grande dimension (largeur moyenne : 8 à 145 cm) atteignant 170 cm de large et 300 cm de longueur.

L'existence de ce deuxième type de gisement conduit à envisager un mode particulier d'évolution des galeries de creusement remontant : -déplacement en profondeur, sous le niveau des rivières par un écoulement lent, -suite au retrait des eaux d'émergence et colmatage par éléments grossiers, -ouverture de l'émergence avec évacuation du matériel grossier, -assèchement de la galerie et évacuation des parties.

Au cours de recherches récentes nous avons étudié la morphologie des conduits karstiques (RENAULT, 1951, les traits des parois de ces conduits (RENAULT, 1959, 1960) et les microformes visibles sur les parois de ces conduits, plus particulièrement les vagues d'érosion (RENAULT, 1961), forme énigmatique susceptible de renseigner sur le régime de l'écoulement ancien du réseau étudié.

Divers observations faites nous ont amené à affecter divers rapprochements entre ces trois catégories de conduits.

## 2. PRINCIPES DE SPÉLÉOMORPHOLOGIE KARSTIQUE

Les formes spéléologiques karstiques (Fig. 1) sont constituées par :

- a- les galeries, conduits karstiques, constitués de roches, présentant généralement la même section pour un tronçon donné et un tracé continu de leur



Philippe RENAULT

## CARACTÈRES DES VAGUES D'ÉROSION SELON LA MORPHOLOGIE DES CONDUITS KARSTIQUES

Après avoir distingué plusieurs types de conduits ou formes spéléologiques élémentaires, l'auteur rappelle les caractères des vagues d'érosion et résume les principes suivis dans l'étude morphométrique de cette forme. Il distingue ensuite:

- a- les vagues d'érosion des galeries de creusement périphérique, localisées sur le sol, les parois ou les voûtes, associées à un remplissage grossier, la roche constituant la paroi étant lissée avec filonnets de calcite nivelés. Dans ce type de gisement les vagues sont de petite dimension (largeur moyenne: 3 à 6 cm),
- b- les vagues d'érosion des galeries de creusement remontant, localisées uniquement sur les parois et la voûte du conduit, la roche formant cette paroi étant terreuse et décomposée, le sol de la galerie étant principalement formé d'éléments fins. Dans ce type de gisement les vagues sont de grande dimension (largeur moyenne: 10 à 145 cm) atteignant 170 cm de large et 200 cm de longueur.

L'existence de ce deuxième type de gisement conduit à envisager un mode particulier d'évolution des galeries de creusement remontant: -creusement en profondeur, sous le niveau des rivières par un écoulement lent, -mise en rapport avec une émergence et colmatage par éléments grossiers, -ouverture de l'émergence avec évacuation du matériel grossier, -assèchement de la galerie et altération des parois.

+

Au cours de recherches récentes nous avons étudié la morphologie des conduits karstiques (RENAULT, 1958), les états des parois de ces conduits (RENAULT 1959, 1960) et les microformes visibles sur les parois de ces conduits, plus particulièrement les vagues d'érosion (RENAULT, 1961), forme énigmatique susceptible de renseigner sur le régime de façonnement ancien du réseau étudié.

Divers observations récentes nous ont amené à effectuer divers rapprochements entre ces trois catégories de données.

### 10. PRINCIPES DE SPÉLÉOMORPHOLOGIE KARSTIQUE:

Les formes spéléologiques élémentaires (fig. 1) sont constituées par:

- a- les galeries, conduits horizontaux, rectilignes ou ondulés, présentant sensiblement la même section pour un tronçon donné si l'on tient compte de leur genèse, il est possible de distinguer (fig. 2):

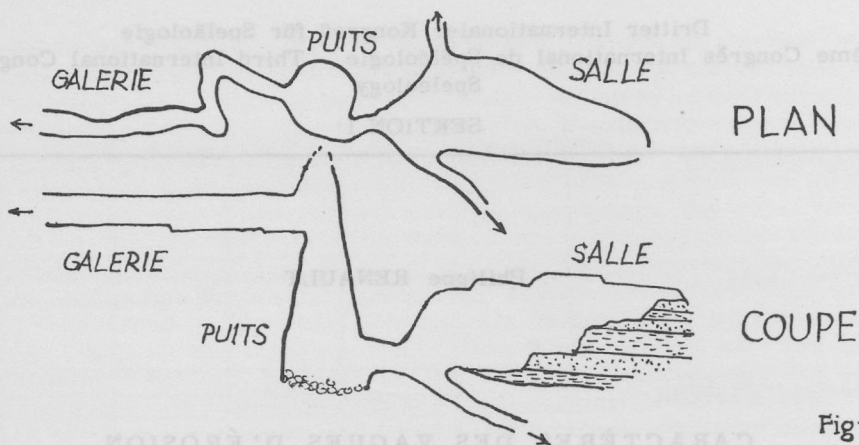


Fig. 1

- 1°- le conduit non colmaté, parcouru par un écoulement en conduite forcée et faisant l'objet d'un creusement périphérique,
- 2°- le creusement remontant de la falerie presque totalement colmatée et parcourue par un écoulement en conduite forcée,
- 3°- le creusement latéral ou descendant d'une galerie parcourue par un écoulement libre,
- 4°- la galerie résultant de la coalescence de cavités primitivement isolées, ultérieurement réunies par recoupement des parois.

b- les puits, à développement vertical prépondérant, avec une section horizontale notablement plus importante que la section moyenne de la galerie d'accès, d'une hauteur plus grande que son diamètre à la base et marquant une tendance plus ou moins accusée vers la forme en éteignoir,

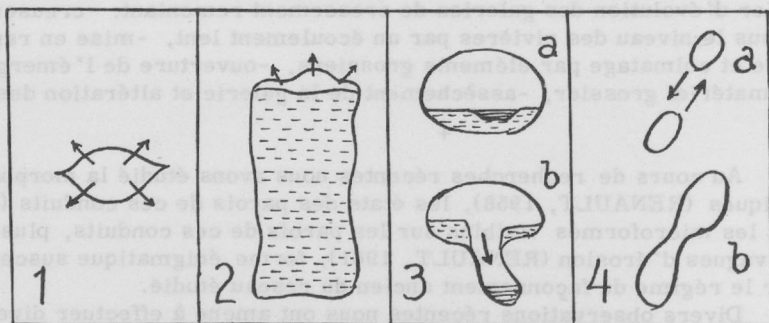


Fig. 2

c- les salles, de section plus grande que la section des galeries d'accès, ne se localisant pas obligatoirement dans l'alignement du réseau de galeries et pouvant même occuper une position très excentrée par rapport aux col=lecteurs principaux, se trouvant souvent au croisement de plusieurs galeries, c'est à dire constituant un carrefour à l'intérieur du réseau.

L'existence de chacune de ces formes implique des conditions structurales, un mode de façonnement hydrodynamique et une évolution morphologique et sédimentaire particulières.

L'étude du détail de ces formes spéléologiques permet d'identifier un certain nombre de microformes, ou formes de façonnement retouchant les formes spéléologiques élémentaires et que l'on peut classer en:

- a) microformes intervenant dans le façonnement des conduits, ex.: marginites de géant, surcreusements, coupoles, etc...
- b) microformes associées aux états de parois, ex.: cupules, vagues d'érosion, etc...

A une échelle dimensionnelle encore plus réduite il faut mentionner les états de paroi ou état de la surface de la roche, ou d'un sédiment faisant office de paroi, et pouvant se présenter sous forme de cassure fraîche, ou propre et lavé, ou décomposé, ou concrétionné, ou recouverte d'un enduit. Dans beaucoup de cas les états de paroi sont inséparables des microformes.

## 20. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES VAGUES D'ÉROSION:

Les vagues d'érosion, coups de gouges, flutes (U.S.A.), scallops, etc. se présentent en dépressions peu profondes, concaves, allongées dans une direction proche de l'horizontale, rarement isolées, le plus souvent coalescentes (fig. 3). En plan la dépression est pointue à une extrémité, arrondie à l'autre. En section, le fond de la dépression est en pente forte du côté de l'extrémité arrondie, en pente douce

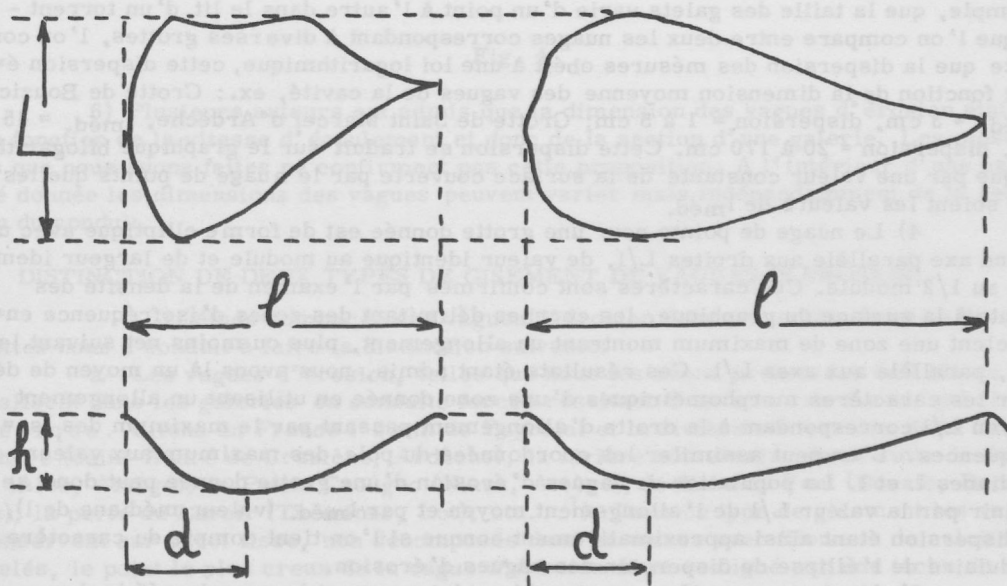


Fig. 3



vers l'extrémité pointue. R. de JOLY a montré en 1933 que l'extrémité arrondie surmontant le coté en pente forte est orienté vers l'amont. Dans la partie la plus profonde de la dépression s'observe souvent une tâche de manganèse soulignant la forme et facilitant son repérage lorsqu'elle est peu accentuée.

Nous parlerons uniquement ici des vagues observées sur roche calcaire en galerie de grotte.

### 30. ÉTUDE MORPHOMÉTRIQUE DES VAGUES D'ÉROSION.

La définition morphométrique des vagues d'érosion repose sur les dimensions  $L$ ,  $l$ ,  $h$ ,  $d$  (fig. 3). L'expérience montrant que  $L$  et  $l$  sont faciles à mesurer,  $h$  et  $d$  plus délicats à saisir et nécessitant pour ce faire un matériel spécial, nous nous sommes attachés à mesurer uniquement  $L$  et  $l$  en divers gisements, chaque gisement pouvant être caractérisé:

- a- par les dimensions moyennes des vagues d'érosion et la dispersion des mesures (granulométrie des vagues),
- b- par le rapport  $L/l$  définissant la forme des vagues (allongement).

Ces mesures sont exploitées de la façon suivante. Reportées sur diagramme bilogarithmique  $L-l$ , chaque vague se matérialise par un point, l'ensemble des mesures aboutissant à la construction d'un nuage de points. L'ensemble des mesures faites dans un certain nombre de grottes françaises conduit aux résultats suivants:

- 1) La variété dimensionnelle des vagues, déjà notée par BRETZ, se vérifie facilement:  $l_{\text{méd.}} = 3$  cm à Bouzic et 45 cm à Saint-Marcel-d'Ardèche.
- 2) Le mouage de points constitué par toutes les mesures faites en diverses grottes se développe suivant une bande allongée parallèlement à l'axe  $L/l$  entre les axes  $L/l = 1/2$  et  $L/l = 5$ .
- 3) Si l'on considère le nuage de point correspondant à une grotte donnée - plusieurs stations ayant été effectuées à l'intérieur de la grotte car d'un point à l'autre d'une même grotte la granulométrie des vagues varie de la même façon, par exemple, que la taille des galets varie d'un point à l'autre dans le lit d'un torrent - et que l'on compare entre deux les nuages correspondant à diverses grottes, l'on constate que la dispersion des mesures obéit à une loi logarithmique, cette dispersion étant fonction de la dimension moyenne des vagues de la cavité, ex.: Grotte de Bouzic,  $l_{\text{méd.}} = 3$  cm, dispersion = 1 à 5 cm; Grotte de Saint Marcel d'Ardèche,  $l_{\text{méd.}} = 45$  cm, dispersion = 20 à 170 cm. Cette dispersion se traduit sur le graphique bilogarithmique par une valeur constante de la surface couverte par le nuage de points quelles que soient les valeurs de  $l_{\text{méd.}}$ .
- 4) Le nuage de points pour une grotte donnée est de forme elliptique avec un grand axe parallèle aux droites  $L/l$ , de valeur identique au module et de largeur identique au  $1/2$  module. Ces caractères sont confirmés par l'examen de la densité des points à la surface du graphique, les courbes délimitant des zones d'isofréquence encerclent une zone de maximum montrant un allongement, plus ou moins net suivant les cas, parallèle aux axes  $L/l$ . Ces résultats étant admis, nous avons là un moyen de définir les caractères morphométriques d'une zone donnée en utilisant un allongement moyen  $L/l$  correspondant à la droite d'allongement passant par le maximum des isofréquences. L'on peut assimiler les coordonnées du pôle des maximum aux valeurs médianes  $L$  et  $l$ . La population de vagues d'érosion d'une grotte donnée peut donc se définir par la valeur  $L/l$  de l'allongement moyen et par  $l_{\text{méd.}}$  (valeur médiane de  $l$ ), la dispersion étant ainsi approximativement connue si l'on tient compte du caractère modulaire de l'ellipse de dispersion des vagues d'érosion.
- 5) Ainsi que nous l'avons signalé antérieurement la granulométrie des vagues d'érosion est très proche de la granulométrie des galets observée dans le même gisement, c'est pourquoi nous avons choisi ci-dessus  $l$  et non pas  $L$ .

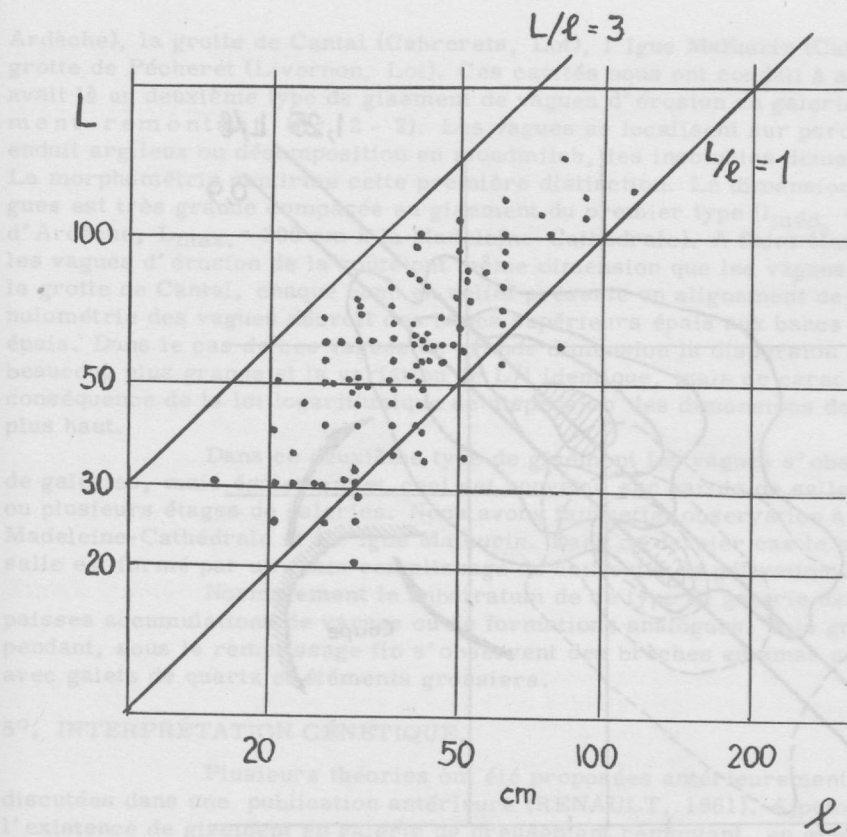


Fig. 4

6) Plusieurs auteurs ont admis que la dimension des vagues d'érosion était une fonction de la vitesse d'écoulement et donc de la section d'une galerie. Les mesures que nous avons faites ne confirment pas cette proposition. A l'intérieur d'une cavité donnée les dimensions des vagues peuvent varier mais indépendamment de la section du conduit.

#### 4°. DISTINCTION DE DEUX TYPES DE GISEMENT DE VAGUES D'EROSION:

L'étude comparée des vagues d'érosion dans un certain nombre de grottes nous a conduit à faire la distinction suivante:

a- Les vagues d'érosion, telles que nous les avons présentées en 1961 se localisent dans les galeries en conduite forcée résultant d'un creusement périphérique. Citons en France l'évent de Peyrejal et la rivière souterraine de la Courcalhère (Saint-André de Cruzière, Ardèche), la rivière souterraine de la Tutte de Jovis (Alos, Ariège), la Petite Caouguo (Niaux, Ariège), le Trou du Vent (Bouzig, Dordogne), la perte du Lavoir (Thémines, Lot), etc...<sup>1)</sup>. Dans ce type de gisement les vagues s'observent sur paroi lisse, non décomposée dans sa masse avec filonnets de calcite nivelés, le point le plus creux de la vague d'érosion étant souligné par une tache de

<sup>1)</sup> Auxquelles il faut joindre en Autriche, la Lurgrotte, près de Peggau, visitée lors des excursions avant le congrès et qui montre de très belles vagues d'érosion.

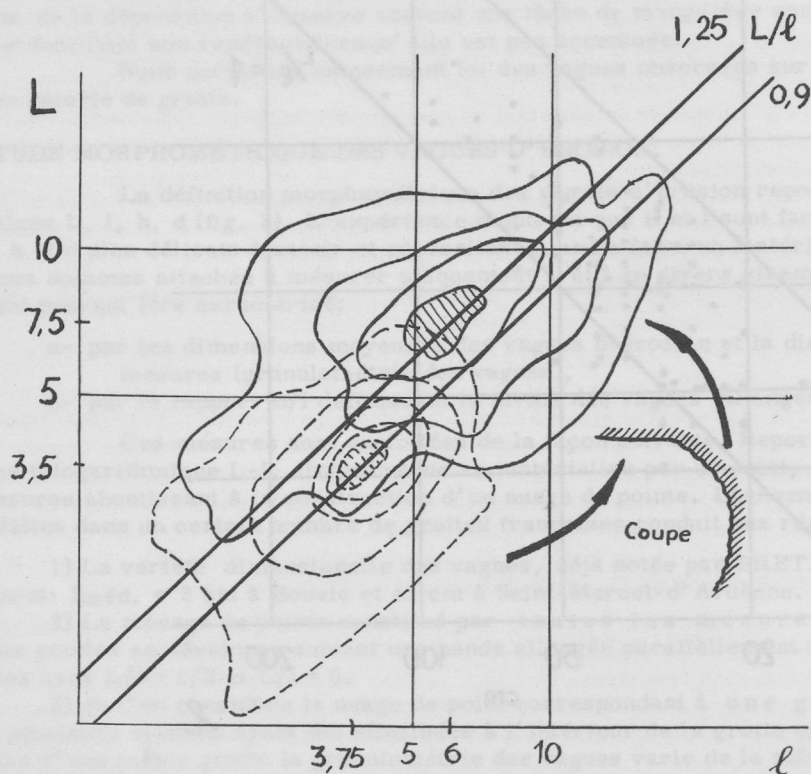


Fig. 5

manganèse. Ce type de cavité est occupé par un remplissage grossier composé principalement de galets. Certaines brèches collées à la voûte prouvent que, lors d'une phase antérieure, le conduit fut totalement colmaté par ce remplissage grossier. La morphométrie montre d'abord une valeur petite de  $l_{\text{méd.}}$  3 cm au Trou du Vent de Bouzic, 6 cm sur le sol et les parois de la Tutte de Jovis (Ariège). Les valeurs de  $L/l$  sont également petites: 1,2 sur les parois de la Tutte de Jovis, 1,3 au Trou du Vent de Bouzic. Les vagues visibles sur la voûte diffèrent morphométriquement des vagues de paroi ou du sol, ainsi qu'il ressort par exemple des mesures effectuées à la Tutte de Jovis. Les vagues de la voûte sont plus petites ( $l_{\text{méd.}} = 3,75$  à la voûte pour 6 sur les parois) et sont équidimensionnelles ( $L/l = 0,9$  à la voûte pour 1,25 sur le sol). Localement  $l'$  allongement peut devenir très grand pour toutes les vagues. C'est ainsi que nous avons cueilli la valeur  $L/l = 2,5$  à la Petite Caugno cette grande valeur semblant en rapport avec un rétrécissement (grotte de Niaux, Ariège) de la galerie ou bien comme à la Lur=grotte (Peggau) à des vagues localisées sur les parois d'un cañon entaillant la base de la galerie.

b- Nous avons déjà mentionnée les vagues observées en galerie ne contenant aucun galet, mais dont la base est obstruée par un colmatage principalement argileux. Citons la grotte de St Marcel-d'Ardèche, la grotte de Madeleine-Cathédrale (St. Remèze,

Ardèche), la grotte de Cantal (Cabrerets, Lot), l'Igue Mathurin (Cabrerets, Lot), la grotte de Pécheret (Livernon, Lot). Ces cavités nous ont conduit à admettre qu'il y avait là un deuxième type de gisement de vagues d'érosion en galeries de creusement remontant (fig. 2 - 2). Les vagues se localisent sur parois terreuses, avec enduit argileux ou décomposition en mondmilch, les insolubles demeurant en relief. La morphométrie confirme cette première distinction. La dimension absolue des vagues est très grande comparée au gisement du premier type ( $l_{\text{méd.}} = 145$  à St Marcel d'Ardèche,  $L_{\text{max.}} = 200$  cm à la Madeleine-Cathédrale). A Saint Marcel d'Ardèche, les vagues d'érosion de la voûte ont même dimension que les vagues de paroi, mais à la grotte de Cantal, chaque banc en relief présente un alignement de vagues et la granulométrie des vagues décroît des bancs supérieurs épais aux bancs inférieurs moins épais. Dans le cas de ces vagues de grande dimension la dispersion des mesures est beaucoup plus grande et la variation de  $L/l$  identique, mais ce caractère est une simple conséquence de la loi logarithmique de dispersion des dimensions de vagues évoquée plus haut.

Dans ce deuxième type de gisement les vagues s'observent sur parois de galeries, mais également et ceci est nouveau sur parois de salles raccordant deux ou plusieurs étages de galeries. Nous avons fait cette observation à la grotte de la Madeleine-Cathédrale et à l'Igue Mathurin. Dans ce dernier cas le substratum de la salle est formé par un épais remplissage de cailloutis de gélivation.

Normalement le substratum de ce type de galerie est formé par d'épaisses accumulations de varves ou de formations analogues. A la grotte de Cantal ce pendant, sous le remplissage fin s'observent des brèches en amas adhérant à la paroi avec galets de quartz et éléments grossiers.

## 5°. INTERPRÉTATION GÉNÉTIQUE.

Plusieurs théories ont été proposées antérieurement, nous les avons discutées dans une publication antérieure (RENAULT, 1961). Ajoutons simplement que l'existence de gisement en galerie de creusement remontant, en général de très large section, et où il est difficile d'envisager des écoulements très rapides, apporte un argument supplémentaire contre la théorie de la cavitation.

Nous avons parlé ailleurs de la genèse des vagues d'érosion en galerie de creusement périphérique. Si l'on tient compte des corrélations existant entre la granulométrie des galets colmatant des galeries et la granulométrie des vagues d'érosion il est possible d'admettre un colmatage ancien du conduit par galets insolubles (quartz, granite, etc...), une circulation aquifère à travers les galets façonnant les vagues d'érosion sur la paroi, puis une phase de dépôt d'un conduit de manganèse, enfin évacuation d'une partie ou de la totalité du remplissage grossier avec abrasion de l'enduit de manganèse sauf dans le creux des vagues d'érosion relativement protégé contre les abrasions par les aspérités voisines. Pour être parfaitement claire cette théorie implique une certaine évolution des conduits karstiques: lors d'un stade initial (phréatique - ? -) formation en profondeur d'un conduit se reliant avec l'extérieur par l'intermédiaire du réseau de fentes; puis ouverture d'une émergence remontante et d'une perte amont, le mouvement des galets aboutissant à un colmatage total des conduits par le remplissage grossier; enfin le niveau d'émergence s'étant abaissé au niveau de conduit, le remplissage grossier obstruant ce dernier sera évacué vers l'extérieur.

Dans le cas des galeries de creusement remontant l'interprétation est plus complexe tout en suivant le même schéma. La comparaison des caractères de ces deux types de gisement permet cependant de poser plusieurs hypothèses. Par exemple dans la région du cañon de l'Ardèche nous observons les deux types de gisement: galerie à creusement périphérique de la Goule de Foussoubie (vagues de petite dimension correspondant à une circulation subactuelle) et systèmes de la Madeleine-Cathédrale et de St Marcel (galeries à creusement remontant, vagues de grandes dimensions correspondant à une circulation très fossilisée). Cette opposition peut s'expliquer



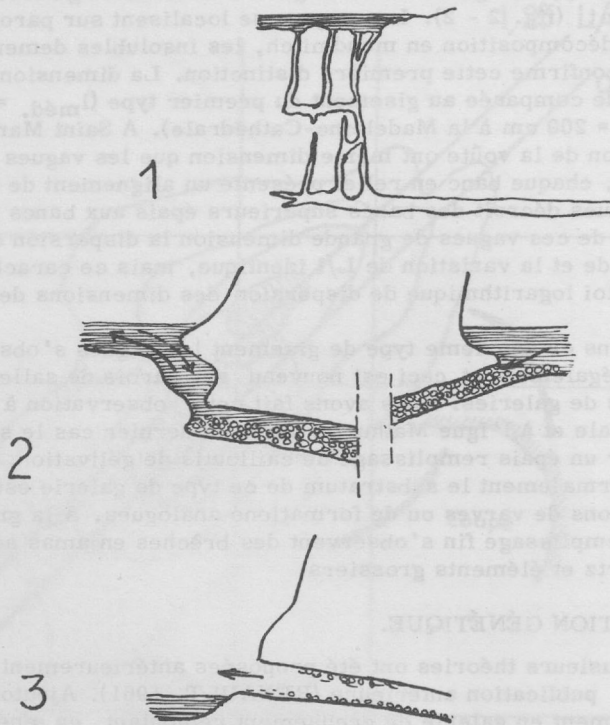


Fig. 6.

de la façon suivante: la granulométrie des vagues d'érosion de la Madeleine et de St Marcel correspond à la granulométrie de certains galets de l'Ardèche et une alimentation de réseau souterrain en matériaux grossiers par la résurgence peut être envisagée au stade 2 de la fig. 6. La possibilité de ce mécanisme ressort de l'étude du mouvement des galets dans les émergences remontantes que nous poursuivons actuellement.

L'ancienneté des réseaux doit être également prise en considération pour expliquer le degré d'altération des parois.

## BIBLIOGRAPHIE.

- RENAULT Ph., 1958. - Eléments de spéléomorphologie karstique. Ann. de Spéléo, t.13, 20 p., à paraître en 1961.  
 RENAULT Ph., 1959. - Etats de parois en caverne. Ann. de Spéléo, t.14, p.249-252.  
 RENAULT Ph., 1960. - Conclusions... Coll. Int. Varenna, à paraître.  
 RENAULT Ph., 1961. - Une microforme spéléologique, les vagues d'érosion. Spelunca (4), vol. I, no. 1, p. 15 - 25.



## LEGENDE DES FIGURES.

Figure 1: Principales formes spéléomorphologiques.

Figure 2: Types génétiques de galeries:

- 1 - Galerie de creusement périphérique;
- 2 - Galerie de creusement remontant;
- 3 - Creusement en écoulement libre à partir d'une galerie de creusement périphérique;
- 4 - Formation d'une galerie par coalescence de conduits primitivement isolés.

Figure 3: Vagues d'érosion en haut, vue en plan; en bas, coupes.

Figure 4: Diagramme bilogarithmique des vagues d'érosion mesurées dans la grotte de la Madeleine (St Remèze, Ardèche)

Figure 5: Densité d'un nuage de point correspondant aux mesures faites à la Tutte de Jovis. En traits continus, mesures de vagues d'érosion localisées sur le sol et les parois; en tireté, mesures de vagues localisées sur la route;

Figure 6: Evolution d'un réseau karstique:

- 1 - Creusement phréatique d'un conduit relié à l'extérieur par un réseau de fentes;
- 2 - Ouverture d'une émergence remontante, en tireté mouvement de galets dans le cas d'un régime climatique à crues brutales extérieures arrivant dans un réseau sec;
- 3 - Evacuation du remplissage grossier lorsque l'émergence se localise au niveau des écoulements aériens.

## Diskussion.

BÖGLI: Vagues d'érosion sind Fließfazetten. Diese sind in ihrer Form teilweise durch die Fließgeschwindigkeit, ferner durch den Anteil der Korrosion und der erodierenden Bestandteile bestimmt, die im Zusammenspiel eine große, mathematisch nicht faßbare Vielfalt ergeben müssen. Beispiele aus dem Hölloch zeigen dies deutlich. Überdies ist entgegen dem französischen Namen die Korrosion an der Bildung meist wesentlich beteiligt.

CORBEL: Il existe en Ardèche des grottes fossiles à remplissage de galets cristallins. Il devrait y avoir prédominance de "vagues d'érosion" dans les grottes à rivière exogène. Est-ce vraiment le cas ?

Comparaison avec la glace où il existe des formes semblables. Ce sont dans les zones à mélange d'air et de l'eau où l'on trouve ces phénomènes dans les glaciers comme dans les grottes calcaires. Dans le premier cas cet apport d'air représente un apport de chaleur permettant la fonte accélérée, dans le deuxième cas un apport de  $\text{CO}_2$  permettant la dissolution accélérée.

RENAULT: La morphométrie des vagues d'érosion est encore mal connue et des tendances peuvent être seulement soulignées: différence de taille entre route et paroi, caractère modulaire du nuage de points. Des mesures complémentaires sont encore nécessaires.

D'autre part la présence de galets me paraît indispensable à la formation des vagues et de galets insolubles. Dans le massif de la grotte de Moulis (Ariège, France) les seules grottes contenant des vagues d'érosion contiennent des galets de granite.

**WARWICK:** In the American literature in this subject is a paper by MASCON, in the Journal of Geology, describing scallops on quartzites - which cannot be due to corrosion. Also this problem has been investigated by engineers and metallurgists, for scallops occur in metal tubes in boilers. These were considered to be caused by the implosion of air in bubbles contained within water circulating in the metal tubes.

**RENAULT:** Cette communication fait suite à ma publication faite en France, dans Spelunca, revue de la Société Spéléologique de France, contenant l'histoire de la question et où sont mentionnées en particulier les auteurs anglo-saxon, BRETZ etc... dont la contribution est fondamentale. Dans la même étude nous passons en revue les théories proposées, la cavitation en particulier, et nous les discutons.

Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology

SEKTION I

---

Helmut RIEDL

VERSUCH EINER SPELEOGENETISCHEN KORRELATIONSMETHODE

Die bisherigen speläogenetischen Untersuchungsmethoden, die mit allgemein geomorphologischen und geologischen Kriterien arbeiteten, brachten hinsichtlich der Altersstellung der Höhlen (Initialgenese) und der Altersstellung von Entwicklungsphasen in Höhlen keine gesicherten Ergebnisse.

Für eine Intensivierung der Aussagekraft der speläogenetischen Methodik ist vorerst die wissenschaftliche Erfassung der Höhlensedimente erforderlich.

Es liegt im Zuge einzelner Naturwissenschaften, gänzlich ins Gebiet der Chemie und Physik einzumünden und darin in Zukunft aufzugehen. Die österreichische Speläogenese arbeitete bis jetzt zum überwiegenden Teil mit makroskopischen Beobachtungsmethoden. In anderen Ländern wird besonders die Höhlensedimentenforschung von Labormethoden beherrscht. Es mutet bedenklich an, wenn eine Auflösung des speläogenetischen Kausalgefüges in Zahlenwerte und Kurvendiagramme stattfindet. Logische Überlegung, die auf Beobachtung basiert, muß auch hier das Fundament bleiben. Die Laboranalysen dienen zur Bestätigung und Erhärtung der Überlegungen. Denn wie will man letzten Endes eine Zahlenreihe aus höhlensedimentologischen Laboruntersuchungen in einen fruchtbaren Konnex zum morphologischen Bild der Evakuationen bringen?

Damit in dieser Hinsicht durch eine Bevorzugung von Labormethoden kein methodischer Bruch entsteht, wurde für die basale Ausgangsfläche aller Laboruntersuchungen eine visuelle, profilmorphologisch - pedologische Feldmethode entwickelt, wobei das Ziel gesteckt wurde, durch unmittelbare, im wesentlichen makroskopische aber verfeinerte Beobachtung des natürlichen Zustandes des anorganischen Anteiles der Höhlensedimente genetische Kriterien zu gewinnen.

Hiebei ist die Tatsache grundlegend, daß die Höhlensedimente einen Komplex mannigfacher Einzelfaktoren darstellen. Die Einzelfaktoren summieren sich nicht nur, d.h. sie liegen nicht nur neben- über- oder untereinander, sondern sie beeinflussen und durchdringen einander auch und schaffen in ihrer funktionellen Verschränkung sogar neue übergeordnete Einheiten, wodurch ein ganzes Integrationsgebäude zustande kommen kann, daß durch eine schwierige und langwierige Differentialanalyse gelöst werden muß.

Im Rahmen speläogenetischer Problemstellung interessiert vor allem eine aussagestarke anorganisch- bodenkundliche Feldmethode, wobei auch fundleere

Schichten datiert werden sollen und die Bildungsart des Höhlensedimentes erwogen werden muß. In Österreich wurde bis jetzt nur die paläobiologische Seite der Höhlensedimente durch Ehrenberg und die prähistorische Seite durch Mottl untersucht, wobei aber nie eine Relation der Untersuchungsergebnisse zu den Fragen der Gesamtgenese der Höhlen hergestellt wurde. Immer mündeten diese Untersuchungsergebnisse wieder zurück in die Paläobiologie oder Prähistorie. Aber auch die hervorragenden ausländischen Arbeiten haben die gesamtspeäogenetische Funktion nicht erfaßt. Eine Ausnahme bildet E. Schmid, die hiezu Ansätze erkennen läßt.

Soll aus der Höhlensedimentforschung ein Nutzen für die gesamtspeäogenetische Forschung erwachsen, müssen die Ergebnisse der feldmäßigen Höhlensedimentuntersuchung in engen Konnex zu den morphologischen und tektonischen Gegebenheiten der Höhlen gebracht werden. Es entsteht so eine umfangreiche speäogenetische Methode, die als Korrelationsmethode bezeichnet werden kann.

Die erste Stufe der Korrelationsmethode besteht in der feldmäßigen Analyse der nicht prähistorischen und nicht paläobiologischen Höhlensedimentkontigente die mit labormäßigen Untersuchungsgängen verbunden wird. Eine geologisch-petrographisch orientierte Labormethode hat Lais entwickelt; auf diese Methode baute E. Schmid auf und modifizierte sie zugleich.

Der zweite für die Frage der Speäogenese besonders bedeutsame und meines Wissens nirgends noch angewandte Schritt der Korrelationsmethode besteht in der Inbezugsetzung der höhlensedimetologischen Befunde im Rahmen der Begriffe Bildungsart und Bildungsbedingung zum Formenschatz der Höhle auf Grund klimatologischer Schlüsse und vorhandener positioneller Funktionen von Höhlensediment und Formenschatz der Evakuationen und Konvakuationen.

Zunächst ist also der Kleinformenschatz des Muttergesteines der Höhle und der Formenschatz der Konvakuationen morphologisch zu analysieren. In erster Hinsicht handelt es sich vor allem um die morphologische Analyse evakuationaler Kleinhohlformen; Karren und Kolke.

Für genetische Erörterungen dürfen nur homologe Formen herangezogen werden. Da das Ziel der Korrelationsmethode eine gesamtspeäogenetische Klärung sein soll, wird besonders die Herausschälung bestimmter Grenzen von Entwicklungsphasen der Höhlenräume angestrebt. Die Ableitung einer speäogenetischen Entwicklungsphase beansprucht die Herausstellung aller homologen Einzelformen in Höhlen, jedoch unter der Voraussetzung einer gewissen Typisierung, so wie ja auch die Entwicklungsphase selbst bereits die Typisierung eines komplizierten Kräftegefüges darstellt. Deshalb wird bei einer intensiven speäogenetischen Untersuchung die Erarbeitung homologer Kleinformengruppen angestrebt werden müssen, worunter mehrere Kleinformen zu verstehen sind, die gleichartige Entstehung aufweisen und einen gleichen Formen typus zeigen, wobei aber der Formenhabitus durch lokale oder sekundäre Faktoren modifiziert sein kann.

Aus der morphologischen Analyse homologer Kleinhohlformengruppen ergibt sich deren Bildungsart. Diese ist hauptsächlich durch klimatische Faktoren, Gesteinsart, strukturelle und mikrotektonische Faktoren bedingt, wobei die Klimakomponenten in diesem Kräftegefüge eine entscheidende funktionelle Kraft gewinnen, da sie durch Art und Intensität ihrer Einwirkung einmal petrographische, einmal strukturelle oder mikrotektonische Komponenten bei der Ausbildung der Formen in den Vordergrund ziehen können.

Am häufigsten werden die Evakuationsgrenzflächen von Korrosionskolken eingenommen. In vielen Höhlen kommt es zu charakteristischen Vergesellschaftungen von Kolken und Höhlenkarren. Hierbei können sich Überprägungen von Kolken durch Karren oder umgekehrt einstellen. Es können sich auch mehrere in sich homologe Formenreihen überprägen. Meistens stellt der überwiegende Anteil überprägter Kleinformen-Vorzeitformen dar, wobei durch die Existenz der Kleinformengenerationen die Abfolge mehrerer vorzeitlicher Raumentwicklungsphasen angezeigt wird. Innerhalb der Vergesell-



schaftungen liegt fast jeder homologen Formengruppe eine bestimmte Klimafunktion zugrunde, die sich aus der morphologischen Analyse der Kleinformen ergibt. So treten z.B. in der Nixhöhle bei Frankenfels in Niederösterreich innerhalb der homologen Reihe der Sickerwasserkolke asymmetrisch gebaute Formen auf, die eine deutliche Abhängigkeit von horizontal verlaufenden Mikrofugen des Muttergesteines (anisischer Gutensteinerkalk) zeigen, wobei nach einer ersten mikrotektonischen Phase eine Zeit tief in die Höhlen eingreifenden Frostes folgte, der diese Mikrofugen trichterförmig erweiterte, daß sie für das langsam in die Höhlenräume einsickernde Wasser günstige Auffangstellen abgaben. Das Sickerwasser korrodierte sodann die kleinen Gesteinstrichter zu hohlkugelförmigen Gebilden. Die so entstandenen Kolke überprägen in der Nixhöhle lang über die Kluftwände dahinziehende Rinnen, die über die waagrecht verlaufenden Mikrofugen des Gesteins senkrecht hinwegziehen, ohne daß das mikrotektonische Element eine Bedeutung für die Anlage der karrenartigen Formen erhält. Beide Formenreihen sind heute inaktiv und stellen fossile Entwicklungszeugen der Höhlenraumentwicklung dar. Es ergibt sich also in dieser Höhle eine Aufeinanderfolge folgender Bildungsarten der Kleinformen und folgende Raumerweiterungsphasen:

- 1) Rasche Sickerwasserzufuhr - Korrosion mit erosiver Komponente - kappend die Gesteinsstrukturen.
- 2) Intensive Frosteinwirkung, Herauspräparierung und Wirksamwerden der Gesteinsstrukturen, lang andauernde Sickerwasserzufuhr mit korrosiver Tätigkeit

Nach der erlangten Kenntnis der Bildungsarten der Kleinformen muß die Abfolge der Bildungsarten mit den Ergebnissen der profilmorphologischen Seditamentanalyse korreliert werden, um auf die höherrangige Ebene des Begriffes der Bildungsbedingungen zu gelangen. Es erhebt sich also die Frage: in welcher Weise spiegelt sich der Rhythmus der Bildungsarten der Kleinhohlformen der Evakuationen in den Sedimentstößen wider? Diese theoretische Fragestellung ist auch de facto berechtigt. So wie die Klimafunktion für die Ausbildung der Kleinformen bestimmend ist, so erreicht diese Funktion in gleichem Maße für die Genese der Sedimente entscheidende Bedeutung, so daß man in Zukunft mit Recht eine Klimaspeläomorphologie entwickeln wird können und dieses Gliederungsprinzip einer typologischen Systematik der Höhlenwelt zugrunde legen wird müssen. Wenn nun für Kleinform und Sediment gleiche Bildungsbedingungen herrschen, so ist auch ein Schluß auf die Altersstellung der Raumentwicklungsphasen möglich. War die Kenntnis der Bildungsart mit der des eigentlichen Kräftespieles ident und konnte primär nicht aus paläobiologischen und prähistorischen Anteilen des Höhlensedimentes abgeleitet werden, so münden jetzt auf die höhere Ebene der Bildungsbedingungen unmittelbar die Ergebnisse der paläobiologischen und prähistorischen Höhlensedimentforschung aus, womit sie Anteil an der Alterseinstufung speläogenetischer Entwicklungsphasen gewinnen können.

Bei allen Korrelationen, die auf Grund der beiden Bereiche (Sedimente und Formen) gemeinsamen Bildungsbedingungen vorgenommen werden, besteht sowohl hinsichtlich der Altersstellung der Entwicklungsphasen als auch der Identität des Formen- und Sedimentrhythmus eine gewisse Unsicherheit, denn es wäre theoretisch möglich, daß sich in bestimmten Fällen ein gleicher Rhythmus mehr als einmal einstellen könnte, wobei es unklar bleiben müßte, welcher Formenrhythmus einen gleichen aber mehrmals vorhandenen Rhythmus im Sediment (oder umgekehrt) entspricht. Um hier die Identität der Rhythmen festlegen zu können, muß die geologische Betrachtungsweise herangezogen werden. Es sind also die Positionen von Kleinform und Sediment zueinander zu prüfen. Auf dieselbe Weise wurde ja auch der Stratenverband des Sedimentes und die Vergesellschaftung der Kleinformen analysiert, um ein System der Aufeinanderfolge der Elemente zu erhalten.

Die hier entwickelte Methodik führt zur Vorstellung der Speläomorphologie und des Alters speläogenetischer Entwicklungsphasen. Sie kann aber nicht bis zur



Kenntnis des Alters der ersten Anlage der Höhlenräume vorgetrieben werden. Zahlreiche moderne Untersuchungen haben ergeben, daß tektonische Ursachen für die Primär-genese der Höhlen entscheidende Bedeutung haben. So fungieren Schichtfugen, die mit Gleitflächen ausgestaltet sind, Klüfte, Kluftkreuzungen und Zonen gezerter Schichtpakete als dominierende tektonische Primäranlagefaktoren. Daneben besitzen aber auch Grenzzonen zwischen verschiedenartigen verkarstungsfähigen Gesteinen oder nur Grenzzonen zwischen Partien, die sich im Chemismus und der Klüftigkeit oft nur wenig unterscheiden, Bedeutung für die Primäranlage der Höhlen. Ein genetisches Kausalverhältnis der Primärhöhlenanlagen zu alten oberirdischen Niveaus und Erosionsbasen existiert in den meisten alpinen Fällen nicht. Der Konnex der Oberflächenmorphologie zur Morphologie der Höhlen ist ein überwiegend klimamorphologischer.

Zwischen Altersstellung der Höhlentektonik und Altersstellung der Großraumformung der Höhlen bricht ein bedenklicher methodischer Dualismus auf. War bisher durch induktives und korrelierendes Vorgehen ein richtungsmäßiger Fortschritt nach oben stets gegeben, so bricht nun diese hierarchische Tendenz ab. Die Tektonik der Höhlen kann altersmäßig nicht mehr durch irgendwelche speläoklimamorphologische Schlüsse festgelegt werden. Die tektonischen Primärzustände der Höhlen können nur durch eine genaue Vermessung des tektonischen Netzes und durch nachfolgende kartographische Interpretation des Höhlenplanes klargemacht werden. Es existiert dabei aber eine enge, großtektonische Funktion. Die speläomorphotektonische Ausbildung der Räume im Grundriß und Querschnitt ist für die Art der tektonischen Bewegungen maßgebend. Niemals aber kann aus dem speläomorphotektonischen Typus allein auf die Altersstellung der Höhlenanlage geschlossen werden. Herrschte bisher bis zur begrifflichen Ebene der Großformung der Höhlen eine starke Integrität des Kräftespieles unter der Dirigierung klimatischer Komponenten, so existiert nun zwischen Morphologie der Höhlen und Tektonik derselben bloß ein einfaches topographisches und morphotektonisches Kausalverhältnis, das jedoch hinsichtlich einer Altersstellung der Höhlentektonik methodisch nicht ausgewertet werden kann. Die hier aufreißenden dualistischen Merkmale sind in der methodischen Zweifelt der Geologie und Geomorphologie schlechthin begründet. Durch den Reichtum der oberirdischen Erscheinungswelt wird dieser alte Dualismus dort selbst stark herabgemindert. In der unterirdischen Isolierung von Integrationskomplexen und Faktoren (Sedimente, Formen, Tektonik) muß sich der Dualismus methodisch stärker auswirken. Um eine Altersstellung der Klüfte erreichen zu können, kann nur die tektonische Analyse des Höhlenkluftnetzes und die Herstellung der Relation zur Großtektonik angestrebt werden.

Das größte Problem der Speläogenese beruht darin, daß zwischen der Initialbildung der Höhlen und dem Beginn der Sedimentation sowie der Formengebung eine große geologische und morphologische Lücke klafft. Diese Problemstellung hat LAIS (nur hinsichtlich der Sedimente) 1941 erkannt. Er vermutet als Ursache des Fehlens älterer Sedimente eine größere allgemeine Gesetzmäßigkeit klimatischer Natur. Diese Lücke stellt sich tatsächlich bei vielen europäischen Höhlen ein. Beim heutigen Forschungsstand der Speläogenese haben wir jene fundamentale Diskrepanz vor uns, die in dem oft noch tertiären Alter der Primärhöhlenanlage und der oft nur jungpleistozänen Höhlenausfüllung aber auch Höhlenmorphologie begründet ist. Es scheint, daß sich die meisten bisherigen speläogenetischen Untersuchungen, die zu keiner exakten Altersstellung der Entwicklungsphasen gelangten, vielfach unbewußt nur mit der jüngeren Formenwelt der Höhlen beschäftigt hat und dabei noch völliges Dunkel über das ältere Kräftespiel herrscht. Vielfach wurden bereits aus der gut erhaltenen jüngeren Formenwelt Kräfteableitungen auf alle Entwicklungsstadien der Höhlen ausgedehnt. Die ältere speläologische Forschung - teilweise aber auch noch jüngere Untersuchungen - maß der Efforiation bei der Großformung der Höhlen die Hauptbedeutung zu. Heute darf es als gesichert betrachtet werden, daß alle jüngeren Entwicklungsphasen nicht durch Druckgerinne, sondern durch korrosive Abtragungskräfte geformt wurden. Es bleibt aber immer noch dahingestellt, ob nicht in jener Zeit der Höhlenentwicklung, aus der bisher

fast keine morphologischen und sedimentären Zeugen bekannt wurde, im Rahmen jugendlicher unterirdischer Verkarstung Druckgerinne am Werk waren. Im Zuge der Tieferlegung der Efforationsstränge (der Umwandlung zu Gravitationsgerinnen bis zum teilweisen Verschwinden der letzteren) könnte der Höhlenraum zu wirksamen Angriffszentren korrosiver Kräfte geworden sein. Man darf aber bei derartigen Hypothesen, welche die Entwicklungslücke ausfüllen wollen, die oben aufgezeigte Diskrepanz der Forschungsmethoden nicht außer acht lassen. Der Stilbruch speläogenetischer Methodik zwischen Untersuchung der Höhlenmorphologie und Altersstellung der Initialgenese zeitigt sicher auch eine große Fehlerquelle, die am Zustandekommen des zeitlichen Ausmaßes der Entwicklungslücken beteiligt ist.

#### Diskussion.

LEHMANN: Ich zweifle daran, daß die "Korrelationsmethode" wirklich durchführbar ist. Bisher ist es noch nicht gelungen, einen bestimmten Formenschatz in den Höhlen mit einem bestimmten Sediment zu korrelieren. Besonders gilt dies für ältere genetische Zyklen. - Bemängelt wird aber lediglich der Ausdruck "Korrelationsmethode" für eine einfache geochronologische Argumentation.

BÖGLI: Korrelation ist das Zusammenschließen gleichzeitiger Erscheinungen. Die angesprochenen Erscheinungen bedeuten aber das Festlegen des Nacheinander, also nicht Korrelation, sondern relative Altersfestlegung.

SAAR: Es wird an Korrosionsformen und Sedimenten in den Dachsteinhöhlen versucht eine Korrelation zwischen Sedimentablagerungen und Sekundärformen an Höhlenwänden zu finden und herzustellen. Dies setzt aber doch die Annahme voraus, daß die kristallinen Sedimente (Rollblöcke) in der Paläotraum "getrifton" wurden; diese Annahme könnte dahingehend richtiggestellt werden, daß diese Sedimente voraussichtlich durch Schlotte direkt ohne Trifton in die Höhlenräume verschleppt wurden und dort unmittelbar am Orte ihres Einschleppens liegen.

BLEICH: Verschiedene Vorgänge in Höhlen folgen einem Schema, das man herausfinden muß, um zu einer Klärung der Genese und ihrer Zeitstellung an einem Objekt zu kommen. Voraussetzung dafür ist die Bearbeitung eines Objekts durch verschiedene Bearbeiter. Entwicklungsreihen müssen aufgezeigt werden. Daß Vorsicht dabei geboten ist, zeigen folgende zwei Beispiele:

- 1) In der Brunnsteingrotte bei Blaubeuren lag Mesolithikum im Humus unter fettem gelbem Lehm, der älter war, aber von oben eingeschwenkt war;
- 2) In der Bärenhöhle bei Erpfingen erfolgt die Ablagerung von Bohnerzen und Lehmen mit Knochen des Villafranchiano in älteren Erosionsformen, hält sich aber infolge von Strömungen genau an diese.

RIEDL: Unter Korrelation verstehe ich die Gleichsetzung des Kräftespiels, das die Evakuierung formte mit jenem, das zur Sedimentation führte. Unter der Verwendung des Begriffes der "Bildungsbedingung" (Klimakomponente) wird auf Grund gleicher Bildungsarten korreliert. Diese Korrelierung besteht nicht im Erfassen korrelater Ablagerungen; das Prinzip der Korrelationen ist vielmehr klimamorphologischer Natur. Nur durch Korrelieren kann eine gesamtspeläogenetische Erfassung erfolgen. Die meisten bisherigen Arbeiten lassen aber hiezu keine Ansätze erkennen.

Methoden sind erforderlich, besonders eine ganzheitliche, da in der speläogenetischen Forschung eine starke Einseitigkeit herrscht. Daß diese Methode anwendbar ist, geht aus den Untersuchungsergebnissen aus der Bearbeitung der Nixhöhle bei Frankenfels (Niederösterreich) hervor (vgl. "Die Höhle", Jgg. 1960).



Rudolf S A A R

## DIE ZIRKULATION IN DYNAMISCHEN WETTERHÖHLEN UND DIE GROSSWETTERLAGE.

Die Funktion der Zirkulationsvorgänge in dynamischen Wetterhöhlen, insbesondere in alpinen Eishöhlen, wird als bekannt vorausgesetzt. Sie beruht auf der Anlage des Höhlensystems als ein im Muttergestein aufsteigender Höhlenschlauch mit wenigstens zwei in verschiedenen Höhen liegenden Tagöffnungen und dem Gewichtsunterschied der in dem kommunizierenden System, bestehend aus der Höhlenwettersäule und der ihr entsprechenden Außenluftsäule, auftritt, sobald die Außenluftsäule infolge Änderung der Temperatur oder ihres Feuchtegehaltes schwerer oder leichter als die Höhlenwettersäule wird. Entsprechend dieser Gewichtsdivergenz kommt es wetterwegigen Höhlenschläuche zu einer aufsteigenden (Kamineffekt) oder absinkenden Wetterbewegung. Die Umkehr der Richtung der Zirkulation (Höhlenwetterinversion) vollzieht sich bei für jede dynamische Wetterhöhle typischen Außentemperaturen, die jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen und bei kräftiger Verflachung dem Jahresverlauf der Außentemperatur folgen. So die bisherige Lehre, die in allen neuzeitlichen speläometeorologischen Arbeiten vertreten wird.

### I

Die in jüngster Zeit aufgeworfene Frage, ob die Zirkulation in dynamischen Wetterhöhlen nicht eher durch dynamische Vorgänge in der Außenluft ausgelöst und gesteuert würde - was deshalb anzunehmen sei, weil das Höhlenwetter, durch die Höhleneingänge mit der Außenluft in Verbindung stehend, auch als Teil der letzteren angesehen werden müsse - regte dazu an, diese Annahme auch rein experimentell zu überprüfen.

Gelegenheit dazu bot die seit 50 Jahren in ständiger meteorologischer Beobachtung stehende Dachstein-Rieseneishöhle (D.R.E.). Für sie liegen allein für etwa 3000 Tage Autographenaufzeichnungen der Außen- und Innentemperaturen, der Feuchte usw. vor, die ein repräsentatives Bild der Beziehung zwischen Außen- und Höhlentemperatur ermöglichen. Im Bereiche der unteren und oberen Höhleneingänge errichtete meteorologische Autographenstationen ermöglichten es, die Veränderungen der meteorologischen Elemente der, der Höhlenwettersäule korrespondierenden Außenluftsäule zu kontrollieren, evident zu halten und den jeweiligen Zirkulations-



vorgängen und Temperaturen in der Höhle gegenüberzustellen.

Ein im unteren Höhleneingange, durch den sich die Höhlenwetterbewegung zwangsläufig vollzieht, eingebauter Windschreiber, registrierte innerhalb eines Zeitraumes von mehreren Jahren die Richtung der Zirkulation - bergein- oder bergauswärts. Der Anlage des wetterwegigen Höhlenschlauches im Bergleibe entsprechend - das Höhlensystem verläuft längs SW - NE streichenden, fast saigeren Hauptkluftscharen - vollzieht sich die Höhlenwetterzirkulation entweder bergwärts d.i. in Richtung aus SW (unterer Eingang) nach NE (obere Tagöffnungen) oder talwärts d.i. in Richtung NE (obere Tagöffnungen) nach SW (unterer Eingang).

Der Windschreiber und die Autographen der meteorologischen Höhlen- und Außenstationen liefen synchronisiert, so daß ihre Aufzeichnungen synoptisch dargestellt werden können.

Diese Aufzeichnungen wurden in der Beobachtungszeit noch durch folgende zusätzliche Erhebungen und Feststellungen ergänzt:

1. An Hand der amtlichen Wetterberichte bzw. Wetterkarten wurde für jeden Tag der Aufzeichnung des Höhlenwindschreibers die Richtung des im Ostalpenraume wetterbestimmenden Druckgefälles, soweit dies möglich war, ermittelt. Auch stabile Hoch- und Tiefdrucklagen über dem Ostalpenraume wurden vermerkt.

2. Wurde, soweit dies aus den Wetterkarten und den Wetterberichten möglich war, auch die Richtung der an den Beobachtungstagen herrschenden Großraumdrift festgestellt und schließlich wurden

3. die aus den täglichen Terminablesungen der meteorologischen Außenstationen im Höhlenbereiche ersichtlichen Lokalwindrichtungen zur Untersuchung herangezogen. Zur Vereinfachung wurden die Angaben über Druckgefälle und Windrichtung auf die acht Haupthimmelsrichtungen beschränkt.

Die Häufigkeit der Richtungen von Druckgefälle, Großraumdrift, und Lokalwind wurden den synchron verlaufenden Zirkulationsvorgängen in der Höhle gegenübergestellt.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist folgendes:

ad 1: Die Richtung der Höhlenwetterzirkulation ist an k e i n bestimmtes Druckgefälle gebunden. Bei jeder Drucklage tritt sowohl bergwärtige (SW-NE) als auch talwärtige (NE-SW) Zirkulation auf. Die Zirkulation kann sowohl gleich- als auch gegensinnig dem Druckgefälle verlaufen. Bei Drucklagen W-E, NW-SE, N-S und SW-NE überwiegt die Häufigkeit der bergwärtigen (SW-NE), die der talwärtigen (NE-SW) Zirkulation. Bei Drucklagen NE-SW, E-W, SE-NW und S-N überwiegt die Richtung der talwärtigen (NE-SW) Zirkulation die der bergwärtigen (SW-NE).

Summiert man die Häufigkeiten des Druckgefälles (entsprechend der Lage des wetterwegigen Höhlenschlauches) vom NE-Sektor zum SW-Sektor und umgekehrt und vergleicht sie mit der Höhlenwetterzirkulation, so zeigt sich, daß bei 145 Häufigkeiten des Druckgefälles in Richtung NE-SW-Sektor die Zirkulation 61mal gleichsinnig und 84mal gegensinnig, bei 195 Häufigkeiten des Druckgefälles in Richtung SW-NE-Sektor 100mal gleichsinnig und 95mal gegensinnig dem Druckgefälle verlief.

Auch bei der Untersuchung der Druckgefällehäufigkeiten n u r in Richtung NE-SW bzw. SW-NE, findet man, daß die Zirkulation im ersten Falle 17mal gleichsinnig und 6mal gegensinnig, im zweiten Falle 11mal gleichsinnig und 35mal gegensinnig dem Druckgefälle verlief.

Die Annahme liegt nahe, daß die Verschiedenheit der Verteilung der Zirkulationshäufigkeiten auf die einzelnen Drucklagen auf die Advektion kalter oder warmer Luftmassen zurückzuführen ist, die als Gradientwind (Großraumdrift), abhängig von der Drucklage auftetend, Temperaturveränderungen im äußeren Höhlenbereiche auslöst.

ad 2: Diese Aufzeichnungen lassen erkennen, daß die Häufigkeiten der Großraumdrift aus dem Westsektor (NW, W, SW), die aus dem Ostsektor (NE, SE, E) bei weitem übersteigt und die aus N und S einander fast gleichkommen. Unverkennbar ist das Überwiegen der bergwärtigen (SW-NE), also zur NW-Drift gegensinnigen Zir-



kulation (94mal gegensinnige zu 29 gleichsinnigen Häufigkeiten), die offensichtlich mit der vermehrten Häufigkeit der Advektion kalter Luftmassen aus NW zusammenhängt.

Ebenso unverkennbar ist das Überwiegen der gegensinnigen (NE-SW) talwärtigen Zirkulation (111 gegensinnige zu 38 gleichsinnigen Häufigkeiten) bei SW-Drift, das offensichtlich mit der vermehrten Häufigkeit der Advektion warmer Luftmassen aus SW zusammenhängt.

Bei N-Drift überwiegt die bergwärtige (gegensinnige) Zirkulation (33 zu 8 Häufigkeiten), bei S-Drift die talwärtige (gegensinnige) Zirkulation (22 zu 12 Häufigkeiten). Bei W-Drift und E-Drift kommen sich gegensinnige und gleichsinnige Zirkulation ziemlich nahe (67 zu 50 bei W-Drift und 11 zu 9 bei E-Drift).

Summiert man wieder die Häufigkeiten der Großraumdrift aus dem NE-Sektor bzw. aus dem SW-Sektor und vergleicht sie mit der Höhlenwetterzirkulation, so zeigt sich, daß bei 288 Häufigkeiten der Drift aus dem NE-Sektor die Zirkulation 78mal gleichsinnig und 201mal gegensinnig, bei 298 Häufigkeiten der Drift aus dem SW-Sektor 105mal gleichsinnig und 193mal gegensinnig der Driftrichtung verlief.

Ähnlich ist auch das Ergebnis, wenn man die Zirkulationsrichtung nur in Beziehung setzt zu den Häufigkeiten der Drift aus NE bzw. SW.

Auch diese Untersuchung zeigt, daß die Richtung der Höhlenwetterzirkulation an keine bestimmte Driftrichtung gebunden ist. Bei jeder Driftrichtung tritt sowohl gleichsinnige als auch gegensinnige Höhlenwetterzirkulation auf. Im grossen und ganzen überwiegt bei Driftrichtung aus W, NW, N, NE die gegensinnige, bergwärtige Zirkulation, entsprechend der vermehrten Zufuhr kalter Luftmassen, bei Driftrichtung E, SE, S, SW die gegensinnige, talwärtige Zirkulation, entsprechend der vermehrten Zufuhr warmer Luftmassen.

ad 3: Die Untersuchung der Lokalwindrichtungen im Höhlenbereiche zeigt vorerst, daß durch die orographischen Verhältnisse des Dachsteingebietes die Richtung der Großraumdrift eine nicht unwesentliche Veränderung erfährt. Die Häufigkeit der Westwinde steigert sich auf Kosten insbesondere der SW-Winde um ein beträchtliches. Die Häufigkeit der Nordostwinde vermindert sich stark, die der Süd, Südost- und Ostwinde vermehrt sich etwas. Die Verteilung der Häufigkeiten der Zirkulationsrichtung zeigt keine qualitative, sondern nur eine quantitative Veränderung, entsprechend der quantitativen Veränderung der Häufigkeiten der Lokalwindrichtungen.

Auch hier tritt bei allen Lokalwindrichtungen, sowohl gleichsinnige als auch gegensinnige Höhlenwetterzirkulation auf, wobei bei Lokalwinden aus dem NE-Sektor die bergwärtige (gegensinnige) Zirkulation (kalte Luftströme), bei Lokalwinden aus dem SW-Sektor die talwärtige (gegensinnige) Zirkulation (warme Luftströme) überwiegt.

Auch diese Untersuchung zeigt, daß die Zirkulationsrichtung an keine bestimmte Lokalwindrichtung gebunden ist. Bei jeder Lokalwindrichtung tritt sowohl gleichsinnige, als auch gegensinnige Zirkulation auf. Lokalwinde aus dem kalten NE-Sektor verursachen häufiger bergwärtige, aus dem warmen SW-Sektor häufiger talwärtige Zirkulation.

Außerdem wurden auch die Beziehungen der Zirkulationsrichtung zu den im Beobachtungsbereiche einwandfrei feststellbaren Calmen untersucht. In 178 Fällen von Windstille im Höhlenbereiche verlief die Zirkulation 99mal talwärts und 53mal bergwärts. 16mal erfolgte Inversion von bergwärtiger auf talwärtige, 10mal von talwärtiger auf bergwärtige Richtung.

Da sich sohin kein Zusammenhang zwischen Druckgefälle, Raumdrift und Lokalwind einerseits und Höhlenwetterzirkulation andererseits erkennen läßt, letztere somit unabhängig von dynamischen Einflüssen im Außenbereiche vor sich zu gehen scheint, können wohl nur thermische Einflüsse und Gegebenheiten die Ursache der

Höhlenwetterbewegung sein. Daher ist es notwendig, auch auf die Gestaltung der Temperaturverhältnisse in der Höhle kurz zurückzukommen.

## II

### Die Temperaturen der Dachstein-Eishöhle.

Die Temperaturen der Höhle wurden seit ihrer Entdeckung im Jahre 1910 laufend und zwar sowohl im wetterwegigen Höhlenteile, so weit dieser zugänglich ist, als auch in den abseits des Wetterweges liegenden Teilen der Höhle, die praktisch nur unter dem Einflusse der Erdwärme stehen, gemessen. Diese Temperaturen sind deshalb von besonderer Bedeutung, weil sie einen Hinweis auf die Temperatur in den unzugänglichen Teilen des wetterwegigen Höhlenschlauches geben und damit eine überschlägige Bestimmung der mittleren Temperatur desselben ermöglichen.

Die Jahrsmittel der Temperaturen betragen nach den Aufzeichnungen der bisherigen vieljährigen Beobachtungszeit:

im Außenbereiche des unteren Höhleneinganges.....	3,0° C
in dem eisführenden Basalaste der Höhle.....	-1,5° C
in den abseits des Wetterweges liegenden Felshallen und Tunnels.....	3,0° C

Da die unzugänglichen Teile des wetterwegigen Höhlenschlauches die Länge seines unterkühlten Basalteiles nach dem morphologischen Aufbau der Höhle um etliches übersteigen dürften und sich dort nicht nur der Einfluß der talwärtigen warmen Höhlenwetter, sondern vielleicht auch der geothermischen Tiefenstufe auf die Höhlentemperatur bereits auswirkt, kann angenommen werden, daß die durchschnittliche des gesamten wetterwegigen Höhlenschlauches ebenfalls bei 3,0° C, möglicherweise auch etwas höher liegt.

Der für die Inversion des Höhlenwetters maßgebliche monatliche, variable Inversionsschwellenwert spricht ebenfalls für diese Annahme. Sein Monatsmittel liegt in den Monaten bei

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,0	0,4	1,3	2,5	3,8	3,9	5,4	5,5	4,6	3,3	3,5	0,6° C

und beträgt daher im Jahresmittel 3,2° C.

Die Ermittlung des jeweiligen Inversionsschwellenwertes ermöglichen die mit den Thermographenaufzeichnungen der Außenstationen synchronisierten Aufzeichnungen des Höhlenwindschreibers, die die Feststellung der jeweiligen Außentemperaturen ermöglichten, bei denen sich ein Inversionsvorgang abspielte.

Das Jahresmittel des Inversionsschwellenwertes entspricht auch ziemlich genau dem langjährigen Jahresmittel in etwa 1700 m SH in der der größte Teil der unzugänglichen Höhlenteile nach der Oberflächenmorphologie des die Höhle umschließenden Gebirgsstockes verlaufen dürfte und das auch in der wärmestetigen Zone der Erdkruste in dieser Seehöhe in Erscheinung tritt. Durch den Einbruch der kalten Winterluft beim unteren und der warmen Sommerluft beim oberen Eingange der Höhle wird die Höhlentemperatur im jahreszeitlichen Sinne analog dem Gang der Außentemperatur beeinflusst, wodurch sich auch der ersichtliche jährliche Verlauf des Inversionsschwellenwertes ergibt.

Mehr in diesem Zusammenhange über die Höhlentemperaturen zu sagen erübrigt sich. Es soll nur erwähnt werden, daß die außerordentliche Konstanz der Höhlentemperatur auch in Jahren mit stark unterschiedlichen Außentemperatur-Mittel-

werten (1956...1,9° C, 1957...3,7° C außen, während die Temperatur des zugänglichen Höhlenraumes um kaum 0,4° C schwankte) eine der auffallendsten Eigenschaften der Höhle und ein für die Zirkulationsvorgänge entscheidender Faktor ist.

### III

#### Zirkulation und Inversion im Bilde des Höhlenwindschreibers.

Die synoptische Zusammenstellung der synchronen Aufzeichnungen des Windschreibers - und der Thermographen der Außenstationen im Bereiche der unteren und oberen Höhleneingänge ergibt ein in Diagrammen festgehaltenes Bild.

1. Solange die Außentemperaturen über dem Inversionsschwellenwert liegen, herrscht unabhängig von der Richtung der Großraumdrift und der Lokalwinde talwärtige (NE-SW), sobald sie unter ihn fällt, bergwärtige (SW-NE) Zirkulation.

2. Nähert sich die Außentemperatur dem Inversionsschwellenwert ohne unter ihn abzusinken, tritt Inversionstendenz auf, d.h. die Zirkulation beginnt zwischen berg- und talwärtiger Richtung zu pendeln, ohne daß sich die Inversion durchzusetzen vermag.

3. Kalt- und Warmfrontdurchgänge mit raschen und kräftigen Temperaturänderungen zeichnen sich durch sprunghafte oder kurz gestaffelte Inversionssprünge klar ab, die eintreten, wenn der Temperaturgang der Außenluft den jeweiligen Inversionsschwellenwert durchschreitet.

4. Wie an einer Reihe von Wetterkarten gezeigt werden kann, wirkt sich z.B. der Durchgang einer vom Westen nach Osten ziehenden, das Höhlengebiet querenden Zyklone folgendermaßen auf die Höhlenwetterzirkulation aus: Im Bereiche der Vorderseite der Zyklone und in ihrem Warmsektor herrschen bei südlichen Strömungen hohe Außentemperaturen. Die Zirkulation verläuft daher talwärts d.i. in NE-SW-Richtung, entgegengesetzt der Großraumströmung und der Lokalwindrichtung. An der Rückseite der Zyklone kommt es bei Durchgang der Kaltfront und Drehung der Strömung aus nördlicher und nordwestlicher Richtung zu einem Temperatursturz in dessen Verlaufe die Höhlenwetterzirkulation von talwärtiger auf bergwärtige Richtung (SW-NE) invertiert, wenn die Außentemperatur den Schwellenwert unterschreitet. Die bergwärtige Zirkulation hält auf der Rückseite der Zyklone weiter an und läuft entgegengesetzt der Raumströmungen und den Lokalwinden aus Norden bzw. Nordwesten. Im antizyklonalen Bereiche entsteht der inverse Effekt, wenn bei Übergang aus der Vorderseite in die Rückseite der Antizyklone an Stelle der kühlen Vorderseitenströmung, die warme Rückseitenströmung das Höhlengebiet überquert. In diesem Falle invertiert die vorerst bergwärtige in talwärtige Zirkulation (NE-SW), die wiederum entgegengesetzt der warmen Südströmung verläuft.

An Hand des Windschreiberdiagrammes und der Wetterkarten lassen sich diese Vorgänge fast für jeden Inversionsfall schlüssig nachweisen.

Damit dürfte der Nachweis erbracht sein, daß die unmittelbare Ursache der Zirkulationsvorgänge thermische Veränderungen in der Außenluftsäule und nicht dynamische Vorgänge in der Außenatmosphäre sind, wenn man nicht - in kaum vertretbarer Verlängerung der Kausalkette - Entwicklung und Charakter der Großwetterlage aus Druckgefälle und Gradientwind als unmittelbare Ursachen der Zirkulationsvorgänge ansehen will, die jedoch ihrerseits nur über den Weg der Advektion kalter oder warmer Luftmassen in den Höhlenbereich einen direkten Einfluß auf die Zirkulationsvorgänge ausüben können.

Wenn die Zirkulationsvorgänge jedoch nur durch die Gewichtsdifferenz zwischen Außen- und Höhlenluftsäule ausgelöst werden, muß diese Gewichts-

differenz meßbar sein, wenn durch Verschuß des wetterwegigen Höhlenschlauches die Einwirkung dynamischer Vorgänge in der Außenatmosphäre auf die Höhlenwettersäule unterbunden wird. Eine solche Untersuchung hat bereits F. TROMBE an der Höhle von Hennemorte durchgeführt und in den "Annales de Spéléologie," Tom. II, 1947 beschrieben.

Ein gleicher Versuch wurde auch in der D.R.E. vorgenommen. Durch Verschuß des unteren Einganges, durch den sich die ganze Wetterbewegung vollzieht, wurde die D.R.E. in einen Luftsack verwandelt, in dem praktisch Wetterstockung herrschte. In den Verschuß wurde ein  $H_2O$  Manometer mit 1 cm<sup>2</sup> lichter Weite so eingebaut, daß der eine Schenkel des kommunizierenden Systems in den Höhlenraum hineinragte, der andere mit der Außenluft in Verbindung stand. Je nach der Temperaturdifferenz außen und innen, wurden Drucke bis zu 2 cm<sup>3</sup>  $H_2O$ , im Durchschnitt 0,5 cm<sup>3</sup>  $H_2O$  gemessen, was Drucken von 5 - 20 kg auf den m<sup>2</sup> der Verschalung entspricht. Da jede mechanische Einwirkung von außen auf die Höhlenwettersäule unterbunden war, entsprechen die Drucke der Gewichts-differenz, die zwischen der Außenluft- und Höhlenwettersäule der D.R.E. bestanden. Die kinetische Energie der sonst bewegten Höhlenwettersäule war durch die Unterbindung der Zirkulationsmöglichkeit in potentielle verwandelt worden.

Auch das Ergebnis dieses Versuches spricht dafür, daß als Ursache der Zirkulationsvorgänge in der Höhle nur die von Temperatur und Feuchtegehalt abhängige Gewichts-differenz zwischen Außenluft und Höhlenwettersäule in Frage kommen kann.

#### Diskussion.

TELL: Die Differentiation der Luftströmung muß in irgend einer Weise von der Lage der Apparate abhängig sein, weil an der Höhlensohle eine ganz andere dynamische Zugrichtung als an der Decke sein muß. Daß die Apparate in der Mitte aufgestellt worden sind, beweist eigentlich nicht, daß im ganzen gesehen der eine oder andere Luftzug wesentlich bestimmend ist. Meiner Ansicht nach sollten die Apparate doppelt eingesetzt werden, und zwar sowohl am Boden als auch an der Decke.

GRESSEL: Die von SAAR vorgelegten Registrierungen beweisen klar wie kaum ein anderes Beispiel die Einwirkung der Dynamik des Großwettergeschehens auf die Höhlenwetterführung. Wie bei jedem Naturgeschehen ist das Kausale die Dynamik; Temperatur, Feuchtigkeit und Niederschlagsverhältnisse sind demgegenüber das Sekundäre. So zeigt sich an den Registrierungen auch sehr deutlich, daß die Zirkulationsumkehr in der Höhle mit dem Moment der Zirkulationsänderung und der Änderung des Druckgefälles im Alpenraum erfolgt und die Temperatur natürlich als sekundärer Faktor mit der Winddrehung von Südwest auf Nordwest absinkt. Durch laufende Eigenbeobachtungen konnten ähnliche Fälle vielfach schon erkannt werden. Registrierungsunterlagen sind für solche mikroorographische Vorgänge sicherlich nicht ganz verläßlich, da ja - was eine alte Erfahrungstatsache ist - die so vielen Einflüssen unterworfen Windmessung im Hochgebirge vollkommen ungenau ist und auch Registrierungen von Temperatur und Feuchtigkeit für Detailuntersuchungen viel zu ungenau sind, wenn man bedenkt, daß für zwei Stunden Registrierungen nur etwa 5 mm Papierstreifen zur Verfügung stehen.



В.Н.СЛАВЯНОВ

## КОНДЕНСАЦИЯ ВОДЯНЫХ ПАРОВ В КАР- СТОВЫХ ПЕЩЕРАХ И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ

Научным исследованиям в области конденсации водяных паров из воздуха и практическим вопросам учета и применения этого процесса уделяется недостаточное внимание.

В природных условиях конденсация имеет большое значение при формировании подземных вод в карстовых пустотах в трещинах горных пород, глибовых навалах, конусах осыпей и т.д. Качественно этот процесс широко известен, однако количественная оценка его обычно очень приближенная и часто производится по интуиции исследователя.

В карстовых районах основными проблемами изучения конденсации являются:

1. Изучение закономерностей и режима развития процессов конденсации.
2. Изучение свойств конденсационной влаги и ее взаимодействия с горными породами /в частности ее роль в формировании карста/.
3. Изучение и разработка методов количественной оценки процессов конденсации и учет их в гидрогеологических расчетах.
4. Разработка методов искусственного влияния на развитие процесса конденсации в карстовых полостях и разработка схем и конструкций установок для искусственного получения конденсационной влаги.
5. Изучение влияния конденсации паров на формирование микроклимата подземных полостей.

Карстовые полости являются наиболее удобными природными ла-



бораториями для изучения процесса конденсации. Исследования, поставленные в закарстованных породах Крыма, позволили выявить подземный карстовый водоем, питающий источники склонов и пополняемый в сухое время года конденсационными водами.

Исследования, поставленные Лабораторией гидрогеологических проблем АН СССР в Воронцовской пещере /район Сочи-Адлер/, показали, что: I. С малой конденсирующей поверхности можно собирать больше воды, чем это предполагалось раньше /практически получали до 0,5 литра воды в сутки с 1 м<sup>2</sup> поверхности/.

2. Уменьшение движения воздуха увеличивает конденсацию.

3. При помощи перекрытия отдельных участков пещеры /деревянными щитами или другими способами/ можно изменить микроклимат пещер и значительно увеличить процесс конденсации.

На процесс конденсации водяных паров из воздуха влияет сочетание и взаимодействие целого ряда факторов. Рассмотрим эти факторы по классификации В.В. Тугаринова с добавлениями кратких указаний о наиболее простых способах влияния на интенсивность их воздействия на процесс конденсации.

Группа факторов и фактор	Простейшие способы влияния
I группа. Факторы метеорологические	Различные воздействия у наружных выходов пещер
а/Температура атмосферного воздуха	Установка калориферов для нагрева или охлаждения воздуха.
б/Абсолютная и относительная влажность воздуха	Установка испарителей или осушающих устройств у выходов пещер
в/Барометрическое давление	Воздействие сложно
г/Направление и скорость ветра	Установка направляющих щитов, отклоняющих естественное направление ветра
д/Турбулентность движения воздуха	- " -
е/Вертикальное перемещение воздуха	Вентиляторы - " -
ж/Степень ионизации воздуха	Специальные установки
2. Факторы, связанные с природой и состоянием конденсирующих поверхностей, на которых происходит образование мельчайших капель воды, и факторы микроклимата внутри конденсатора.	Искусственное изменение микроклимата внутри пещер и установка и обработка конденсирующих поверхностей и масс

а/Температура и величина давления водяного пара у конденсирующих поверхностей.

б/Теплоемкость, теплопроводность

в/Степень излучения.

г/Электрические свойства среды

д/Паропроводимость, скважность, диаметр пор и т.д.

е/Природа и окраска среды

ж/Характер поверхности  
/выпуклая, вогнутая, ровная/

з/Скорость движения воздуха около конденсирующих поверхностей.

3.Факторы конструктивного порядка, связанные со схемой работы установки.

Обогревающие и холодильные установки. Испарители и сушилки. Изменение условной естественной вентиляции.

Покрывание защитным слоем. Пропитывание пор заполнителями. Специальное заполнение пещер различными материалами, частичная теплоизоляция. Окраска. Покрывание поверхности защитными или активным слоем.

Покрывание поверхности изоляционным или электропроводным слоем. Пропитка электролитом.

Обработка поверхности, пропитка, замена материала, поверхностное закрытие пор.

Окраска. Замена материала. Обработка материала.

Специальная подборка материала  
Обработка поверхности.

Установка вентиляторов. Перекрытие отдельных ходов сообщения в карстовых пещерах.

Широко изменяются при проектировании установки.

### Основные закономерности природных и искусственных конденсаторов

Конденсационные установки подразделяются на три типа:

1. Конденсаторы, работающие за счет суточных и сезонных охлаждений самого конденсатора и его заполнителя.

2. Конденсаторы, работающие за счет природных источников охлаждения /вечная мерзлота, выходы газов, источники подземных вод, охлаждение морской водой/.

3. Конденсаторы, работающие за счет искусственного охлаждения. Они состоят из источника энергии, холодильной установки и конденсатора. Для опытного и лабораторного моделирования и исследования наиболее удобен 3-й тип конденсаторов. Схема конструкции подобного лабораторного передвижного конденсатора разработана В.Н.Славяновым.

В пределах каждого природного или искусственного конденсатора можно выделить две зоны: а/зону, в пределах которой водяные пары воздуха охлаждаются до точки росы, /охлаждающая зона/ и б/зону, в пределах которой происходит конденсация водяных паров из воздуха, /конденсирующая или рабочая зона/. Между этими зонами располагается температурная граница, соответствующая точке росы, которая в зависимости от сезонных и суточных колебаний температуры и влажности может смещаться. Соотношение между об"емом рабочей зоны и полным об"емом конденсатора является его коэффициентом полезного действия.

$$\frac{y_{\text{конд}}}{y_{\text{общ}}} = K$$

Количество воды, полученное с единицы об"ема конденсатора, характеризует его работоспособность

$$\frac{Q}{y_{\text{общ}}} = P$$

Работоспособность конденсатора /P/ зависит от целого ряда факторов /теплоемкость, теплопроводность, характер поверхности, пористость и т. д./. При однородных конденсаторах количество получаемой воды увеличивается пропорционально рабочему об"ему конденсатора, поэтому конденсаторы большого об"ема имеют большую работоспособность. Это является причиной частых неудач при опытах с конденсаторами малого об"ема.

$$P = y_{\text{общ}} / 3 /$$

$$P = y_{\text{конд}} / 4 /$$

Опытные конденсаторы, установленные в карстовых пещерах, могут целиком находиться в зоне конденсации пещеры и представлять собой часть ее конденсирующих поверхностей. Благодаря этому, экспериментальные работы в карстовых пещерах наименее трудоемки и могут быть проведены с наименьшими затратами материалов и средств.

Водоотдача конденсирующего материала зависит от его водоудерживающей способности, поэтому количество стекающей из конденсатора воды является только частью сконденсировавшейся. Общее количество конденсирующейся влаги равно количеству стекающей воды и количеству впитавшейся воды.

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{сток}} + Q_{\text{впит}}$$

Пористые камни вначале сами насыщаются конденсационной водой и только затем начинают отдавать излишки воды, которые переходят в гравитационное движение. Если поглощающая способность конденсатора больше работоспособности, то и при наличии процесса конденсации стока воды из конденсатора не будет. Исходя из этого, для первой стадии изуче-

ния конденсации полезно применить конденсаторы, с породами или материалами, не впитывающими воды /стекло, пластмассы, металлы и т.д./.

Для изучения влияния факторов среды на процесс конденсации полезно и необходимо ставить опыты в сериях конденсаторов или использовать разные участки в одном конденсаторе с различными материалами и конструкциями.

Л. С. СОКОЛОВ

## СУБТЕРРАНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЯХ

Различные по форме и размерам подземные карстовые полости являются той средой, в которой формируются разнообразные по своему происхождению и составу субтерральные отложения. В последние годы отложения континентальных осадочных образований эти отложения выделяются в самостоятельный ряд /Н.И.Никольский, В.В.Коллер и др./.

В СССР вопросы геологии и минералогии субтерральных отложений в карстовых полостях освещались в работах А.В.Бермана, И.Н.Фроленко и др.

В настоящем докладе предлагается схема классификации субтерральных образований этого ряда. В своей основе эта классификация имеет генетическую, т.е. выделение в ней образований осуществляется по характеру процессов, разнотипных под землей и связанных с формированием разнообразных систем. По отношению к полости из генетических типов довольно определенно устанавливается принадлежность к тому или иному типу формирования, либо в зоне аэрации, либо в зоне подпочвенной или уровня подземных вод /зона насыщения/ - см. таблицу № 1. <sup>2</sup> Формирование других генетических типов происходит в зонах насыщенных вод.

<sup>2</sup> переходная зона сезонного колебания уровня подземных вод





SEKTION I

Д. С. СОКОЛОВ

СУБТЕРРАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В  
КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЯХ

Различные по форме и размерам подземные карстовые полости являются той средой, в которой формируются разнообразные по своему происхождению и составу субтерральные отложения. В обобщающих классификациях континентальных осадочных образований эти отложения выделяются в самостоятельный ряд /Н.И.Николаев, Е.В.Шанцер и др./

В СССР вопросы геохимии и минералогии субтерральных отложений в карстовых полостях освещались в работах А.Е.Ферсмана, П.Н.Чирвинского и др.

В настоящем докладе предлагается схема классификации главных образований этого ряда. В своей основе эта классификация является генетической, т.е. выделенные в ней образования различаются по характеру процессов, развивающихся под землей и приводящих к формированию разнообразных отложений. По отношению к некоторым из генетических типов довольно определенно устанавливается приуроченность процесса, вызывающего их формирование, либо к зоне аэрации, либо к зоне, расположенной ниже уровня подземных вод /зона насыщения/ - см. таблицу № I. <sup>х/</sup> Формирование других генетических типов протекает в обоих названных зонах.

---

<sup>х/</sup> Переходная зона сезонного колебания уровня подземных вод на таблице не выделена.

Таблица № I

Схема классификации главнейших генетических типов  
субтерральных отложений, формирующихся в карстовых  
полостях

	зона аэра- ции	зона ниже уровня подземных вод
1. Остаточные образования - доломитовая мука и т.п.	+	+
2. Обвальные накопления - продукты обрушения сводов карстовых полостей	+	+
3. Аквальные механические осадки:		
а/ пещерный аллювий	+	+
б/ отложения пещерных озер	+	-
в/ коьматационные отложения	+	+
4. Хемогенные отложения:		
а/ натечные образования	+	+
б/ отложения из водных растворов ниже уровня подземных вод	-	+
5. Пещерные и трещинные льды	+	-
6. Органогенные отложения - гуано, пе- щерные фосфориты и т.п.	+	-
7. Антропогенные отложения	+	-

1. Остаточные образования формируются одновременно с развитием подземных карстовых полостей. Условия, способствующие их накоплению, имеются там, где скорости движения карстовых вод недостаточны для механического выноса остаточных продуктов выщелачивания. Наиболее распространенные образования этого типа - подземная, щебнисто-глинистые накопления и особенно доломитовая мука.

2. Обвальные накопления - продукты обрушения сводов крупных карстовых полостей. Обрушению существенно способствуют трещины разгрузки, образующиеся в породах, слагающих стенки карстовых полостей. Состав обвальных накоплений первоначально отвечает составу пород, слагающих свод данной карстовой полости.

3. Аквальные механические осадки, образующиеся в результате механического переноса карстовыми водами весьма разнообразного по своему составу материала /от тонких глинистых частиц до валунов/. Имеются три основных источника питания этих отложений: а/перенос материала, слагающего остаточные и обвальные субтерральные образования, б/суффозия материала, перекрывающего закарстованную толщу и в/влекомые и взвешенные наносы, которые исчезающие под землей реки и ручья вносят в подземные карстовые полости.

Выделяются три подтипа аквальных механических осадков: пещерный аллювий, отложения пещерных рзер и кольматационные отложения. Гидродинамические условия формирования первых двух подтипов в известной мере сходны с условиями образования соответствующих поверхностных отложений.

Особенно широко распространены кольматационные отложения, образующиеся в разнообразных карстовых полостях за счет привноса материала инфильтрационными и инфлюационными водами. Явление кольматации распространяется на глубину многих десятков и даже первых сотен метров. Кольматационные отложения широко развиты и под руслами рек, где их формирование происходит главным образом во время речных паводков. Иногда кольматация закарстованных зон бывает настолько совершенной, что эти зоны становятся водонепроницаемыми; в практике гидротехнического строительства СССР известны примеры использования таких закольматированных зон в качестве естественных понуров.

4. Хемогенные отложения в подземных карстовых полостях пользуются очень широким распространением и разделяются на два подтипа. Первым подтипом являются различные натечные образования /сталактиты, сталагмиты, занавеси и т.д./, формирующиеся в зоне аэрации и обнаруживающие довольно тесную связь с составом самих карстующихся

пород. Именно эти образования привлекали наибольшее внимание исследователей карста.

Вторым подтипом являются хемогенные отложения, выпадающие из водных растворов ниже уровня подземных вод. Это обширнейшая группа весьма разнообразных минеральных образований, формирующихся на разных глубинах, в условиях различных по составу и температуре водных растворов; к ним примыкают и различные метасоматические образования.

С хемогенными отложениями связан целый ряд полезных ископаемых, формирующихся в карстовых областях.

5. Пещерные и трещинные лды представляют довольно широко распространенные образования в подземных полостях зоны аэрации. Их генезис связан главным образом с своеобразными условиями циркуляции воздушных масс в карстовых полостях.

6 и 7. Органогенные и антропогенные отложения. Выделение этих двух подтипов не требует особых пояснений. К первому из них относятся встречающиеся в ряде пещер скопления гуано, костяных брекчий и являющиеся продуктом их дальнейшего изменения залежи пещерных фосфоритов и селитры.

Ко второму относится часто наблюдаемый культурный слой, свидетельствующий о широком использовании первобытным человеком пещер в качестве жилищ и убежищ.

-----

Из выделенных в настоящей классификации главнейших субтерральных образований наиболее изученными являются те, которые формируются в зоне аэрации в крупных доступных для непосредственного проникновения человека карстовых полостях. Значительно хуже изучены кольматационные отложения, а также хемогенные образования, формирующиеся ниже уровня подземных вод; в то же время именно они представляют наиболее распространенные отложения рассматриваемого ряда.

SEKTION I

Pierre d'URSEL et Paul VANDERSLEYEN

LA GROTTE DE HOTTON (BELGIQUE).  
REGIONALE ARBEITEN

TRAVAUX REGIONAUX.

Parmi les découvertes de la dernière guerre mondiale, il en est peu qui soient aussi retentissantes que la découverte des grottes de Hotton en novembre 1958. Toute la presse belge a annoncé, parfois déformé, cette trouvaille nouvelle.

Un grand nombre de spéléologues belges ont pris part à l'exploration de cette cavité. Les noms seront cités dans l'historique de la découverte.

Dans la région de Hotton-Hampteau, située dans la province du Luxembourg, VANDEN BROECK, MARTEL et RAHUR avaient dès 1919 signalé l'importance du massif calcaire au point de vue karstique. Une bande de calcaire Givétien inférieur belge (Giv) se trouve comprise entre deux bandes de calcaire de Givétien supérieur (Gib). Au sud de Garpinnes, le tout bordé du côté de Hotton par du calcaire Fraenien et du côté de Hampteau par du Couvinien (Schiste et calcaire mélangés).

Si l'on suit la route menant du hameau de Meuti-Favay à Hotton, on remarque tout d'abord trois effondrements.

Le premier, à l'ouest, n'est qu'une simple dépression dans une plaine et ne peut marquer que l'existence hypothétique d'une cavité souterraine.

Tout près, le second est un chanoir caractérisé. Petit, il a la forme d'un demi-entonnoir, avec un affleurement rocheux et une ouverture imperméable à la base.

Le troisième est un ancien chanoir actuellement comblé. Un ruisseau coule dans un thalweg peu caractéristique et s'y perd. Ce chanoir se trouve à 100 m. de l'extrémité de la Grotte de Hotton. La carte géologique au 1/40 000 indique un relief à cet endroit.

En suivant cette faille et proche d'elle, nous découvrons sur le terrain une série de trois minuscules dans des affleurements rocheux. Ces ouvertures n'ont aucun intérêt si elles ne se trouvaient pas quasi à l'aplomb de la caverne.

Un peu à l'est, probablement pas au-dessus de la caverne, se trouve un effondrement plus important.

En poursuivant notre voyage nous arrivons dans la carrière Capelle à Hampteau où se situe l'entrée de la grotte.

Au bord de la route N° 34 Hotton - Laroche, vis à vis de la carrière, se trouve une réurgence. Probablement celle des eaux engouffrées par d'anciennes grottes.





Pierre d'URSEL et Paul VANDERSLEYEN

### LA GROTTE DE HOTTON (BELGIQUE).

Parmi les découvertes marquantes faites après la dernière guerre mondiale, il en est peu qui soient aussi retentissantes que la découverte des grottes de Hotton en novembre 1958. Toute la presse belge a annoncé, parfois déformé, cette trouvaille heureuse.

Un grand nombre de spéléologues belges ont pris part à l'exploration de cette cavité. Les noms seront cités dans l'historique de la découverte.

Dans la région de Hotton-Hampteau, située dans la province du Luxembourg, VAN DEN BROECK, MARTEL et RAHIR avaient dès 1910 signalé l'importance du massif calcaire au point de vue karstique. Une bande de calcaire Givétien inférieur belge (Gva) se trouve comprise entre deux bandes de calcaire Givétien supérieur (Gvb, Assise de Gerpinnes), le tout bordé du côté de Hotton par du calcaire Frasnien et du côté de Hampteau par du Couvinien (Schiste et calcaire mélangés).

Si l'on suit la route menant du hameau de Menil-Favay à Hotton, on remarque tout d'abord trois effondrements.

Le premier, à l'ouest, n'est qu'une simple dépression dans une prairie et ne peut marquer que l'existence hypothétique d'une cavité souterraine.

Tout près, le second est un chantoir caractérisé. Petit, il a la forme d'un demi-entonnoir, avec un affleurement rocheux et une ouverture impénétrable à la base.

Le troisième est un ancien chantoir actuellement comblé. Un ruisseau coule dans un thalweg peu caractéristique et s'y perd. Ce chantoir se trouve à 200 m. de l'extrémité de la Grotte de Hotton. La carte géologique au 1/40 000 indique une faille à cet endroit.

En suivant cette faille et proche d'elle, nous découvrons sur le terrain une série de trois minuscules dans des affleurements rocheux. Ces ouvertures n'auraient aucun intérêt si elles ne se trouvaient pas quasi à l'aplomb de la caverne.

Un peu à l'est, probablement pas au-dessus de la caverne, se trouve un effondrement plus important.

En poursuivant notre voyage nous arrivons dans la carrière Calozet à Hampteau où se situe l'entrée de la grotte.

Au bord de la route N° 34 Hotton - Laroche, vis à vis de la carrière, se trouve une résurgence. Probablement celle des eaux engouffrée par différentes pertes

depuis le village de Verdenne jusqu' à Hotton en passant par les eaux de la caverne. A l'heure actuelle aucune recherche, ni aucun essai de coloration n'a prouvé cette hypothèse.

## DESCRIPTION DU RESEAU.

La grotte est formée au détriment d'un joint de stratification, les bancs étant entièrement redressés, presque à la verticale puisque le pendage est de  $82^{\circ}$ . La caverne possède deux entrées, ou plutôt une entrée et une sortie. La première est l'entrée Calozet ou orientale s'ouvrant dans la carrière au bord de la rivière Ourthe. Cet orifice a comme coordonnées Lambert:  $X = 228.027.00$  et  $Y = 106.073.00$ . La seconde est l'entrée Lefèbvre ou occidentale s'ouvrant dans une prairie sur le plateau. Ses coordonnées Lambert sont:  $X = 227.517.00$  et  $Y = 105.916.00$ .

Le parcours en long de la grotte est de 720 mètres pour une distance à vol d'oiseau de 610 mètres seulement. Ceci s'explique par les quelques détours que l'on fait aux environs de la Salle Juliette. Toutefois le développement total actuellement connu est de 1500 mètres. de galeries avec une dénivellation, entre l'entrée occidentale et la rivière, de 58 m. seulement.

Voilà pour les chiffres. Venons maintenant à la description des quatre étages dont se compose la cavité. Pour faciliter la relation nous partirons du plateau calcaire et allons pénétrer dans la caverne par l'entrée occidentale. Nous imitons en cela les futurs touristes qui auront le bonheur de visiter ce joyau du monde souterrain.

10. De l'entrée nous pénétrons dans un réseau fossile supérieur qui n'est connu que par une salle (la salle de la Persévérance) et quelques galeries formées d'éboulis cimentés par la calcite.

20. Ensuite nous pénétrons dans un second réseau fossile, fort joliment concrétionné, que l'on retrouve sur toute la longueur de la caverne. La partie centrale de ce réseau s'est effondré jusqu'au niveau actif, formant à cet endroit une galerie unique (la galerie du Spéléo-Club de Belgique) de 32 m. de hauteur.

Dans la partie amont ou occidentale, le réseau est constitué de galeries de faible hauteur sur une longueur de 250 m. (ce sont les salles de l'autel, de minuit, des puits; la galerie de l'amitié, le balcon). Cette partie sera très prochainement ouverte au public. La visite se terminera au balcon.

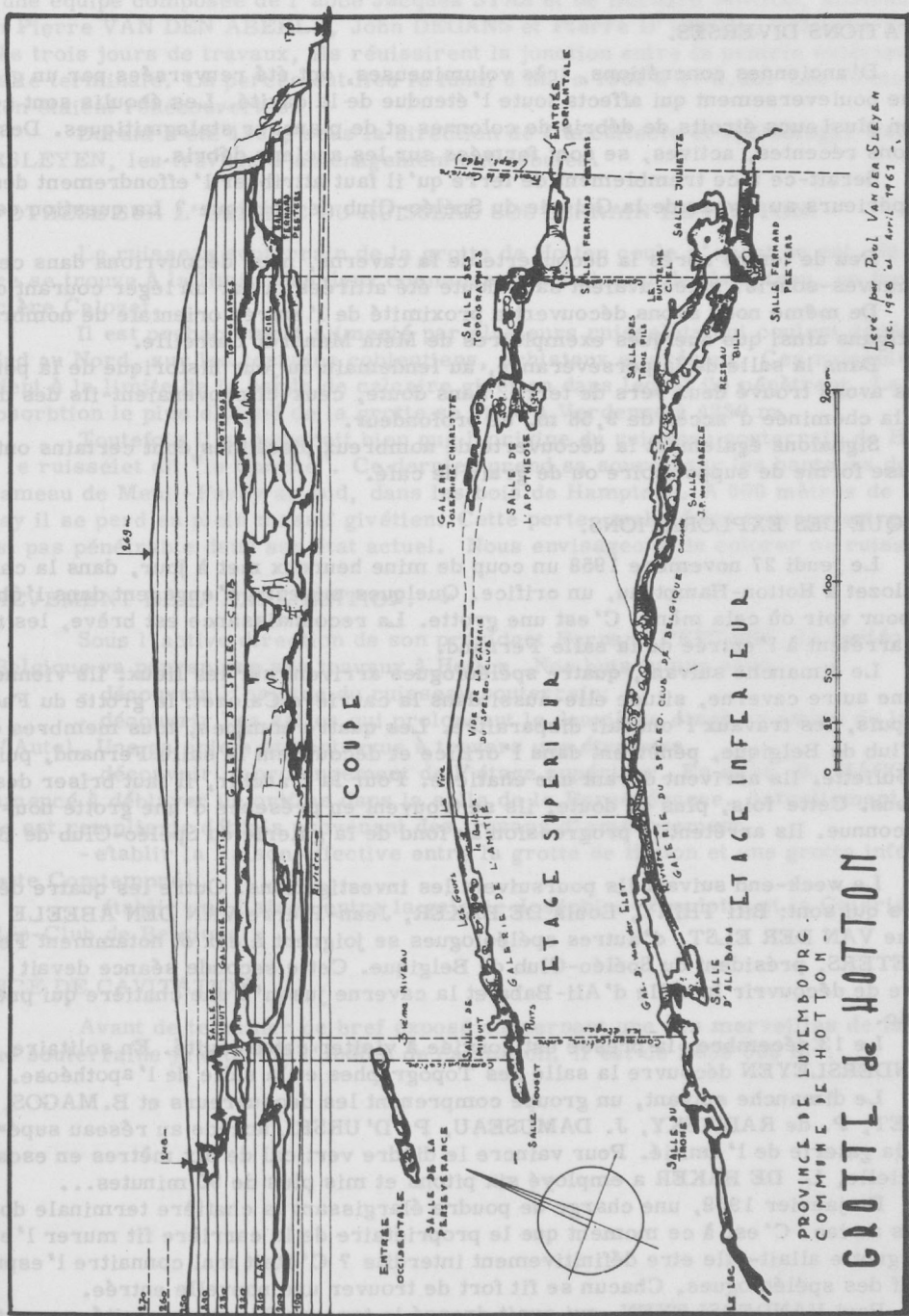
Dans la partie aval ou orientale, le réseau s'étale plus longuement. Nous trouvons plusieurs galeries parallèles reliées par des zones effondrées (Galerie Josephine Charlotte, Salles de l'Apothéose, des topographes, Fernand et galerie d'entrée).

Tout cet étage contient une multitude de concrétions jeunes puisqu'en pleine formation. Il y a des stalactites, des stalagmites, des gours, des excentriques et même des perles des cavernes..

30. Un étage fossile partiellement concrétionné qui débute à l'amont par un vaste gour de 23 m. de long entièrement fermé de toutes parts, c'est le Lac, et des galeries étroites. Cet étage intermédiaire, effondré dans la partie centrale de la cavité, reprend dans la partie aval, où il se ramifie en plusieurs galeries parallèles, dont une formant par intermittence un lac (le 8<sup>0</sup> ciel). Ces galeries sont formées par le réseau Bill et la salle Juliette.

40. Un étage actif, non concrétionné, mais parcouru par le torrent souterrain. A l'amont, le ruisseau réurge d'un siphon dont la voute n'a pas pu être dépassée. Les plongeurs JASINSKI et STENUIT l'ont suivie sur une longueur de 40 m. à une profondeur de 8 m.

Dans la partie centrale de la caverne, l'étage actif est constitué d'une galerie unique formée de l'effondrement des autres étages supérieurs. C'est la Galerie du Spéléo-Club de Belgique, longue de 200 m. et haute de 32 m.



## OBSERVATIONS DIVERSES.

D'anciennes concrétions, très volumineuses, ont été renversées par un gigantesque bouleversement qui affecta toute l'étendue de la cavité. Les éboulis sont constitués en plusieurs étroits de débris de colonnes et de plancher stalagmitiques. Des concrétions récentes, actives, se sont formées sur les anciens débris.

Serait-ce à ce tremblement de terre qu'il faut attribuer l'effondrement des étages supérieurs au niveau de la Galerie du Spéléo-Club de Belgique ? La question est posée.

Peu de temps après la découverte de la caverne, nous découvrons dans celle-ci des chauves-souris. Elles avaient sans doute été attirées là par un léger courant d'air.

De même nous avons découvert à proximité de l'entrée orientale de nombreux *Culex fatigans* ainsi que quelques exemplaires de *Méta Ménardi Latreille*.

Dans la salle de la persévérance, au lendemain du jour historique de la percée, nous avons trouvé deux vers de terre. Sans doute, ceux-ci provenaient-ils des déblais de la cheminée d'accès de 9,58 m. de profondeur.

Signalons également la découverte de nombreux pisolithes dont certains ont la curieuse forme de suppositoire ou de grain de café.

## HISTORIQUE DES EXPLORATIONS.

Le jeudi 27 novembre 1958 un coup de mine heureux met à jour, dans la carrière Calozet à Hotton-Hamptean, un orifice. Quelques mineurs s'engagent dans l'obscurité pour voir où cela mène. C'est une grotte. La reconnaissance est brève, les mineurs s'arrêtent à l'entrée de la salle Fernand.

Le dimanche suivant, quatre spéléologues arrivent sur les lieux. Ils viennent visiter une autre caverne, située elle-aussi dans la carrière Calozet: la grotte du Fac-teur. Depuis, les travaux l'ont fait disparaître. Les quatre hommes, tous membres du Spéléo-Club de Belgique, pénètrent dans l'orifice et découvrent la salle Fernand, puis la salle Juliette. Ils arrivent devant une chatière. Pour la franchir, il faut briser des concrétions. Cette fois, plus de doute, ils se trouvent en présence d'une grotte nouvelle, inconnue. Ils arrêtent la progression au fond de la galerie du Spéléo-Club de Belgique.

Le week-end suivant ils poursuivent les investigations. Outre les quatre découvreurs qui sont: Bill THIRY, Louis DE BAKER, Jean-Pierre VAN DEN ABEELE et Dominique VAN DER ELST, d'autres spéléologues se joignent à eux et notamment Fernand PEETERS, président du Spéléo-Club de Belgique. Cette seconde séance devait permettre de découvrir la salle d'Ali-Baba et la caverne jusqu'à une chatière qui précède le lac.

Le 13 décembre, la presse est conviée à visiter cette cavité. En solitaire, Paul VANDERSLEYEN découvre la salle des Topographes et la salle de l'apothéose.

Le dimanche suivant, un groupe comprenant les découvreurs et B. MAGOS, Y. ROUGET, P. de RADITSKY, J. DAMUSEAU, P. D'URSEL accède au réseau supérieur, à la galerie de l'amitié. Pour vaincre le dièdre vertical de dix mètres en escalade artificielle, L. DE BAKER a employé six pitons et mis plus de 90 minutes...

En janvier 1959, une charge de poudre élargissant la chatière terminale donne accès au lac. C'est à ce moment que le propriétaire de la carrière fit murer l'entrée. La grotte allait-elle être définitivement interdite ? C'était mal connaître l'esprit compétitif des spéléologues. Chacun se fit fort de trouver une nouvelle entrée.

Paul VANDERSLEYEN, qui avait dressé la topographie de la cavité, reporta le plan de la grotte sur les extraits cadastraux à même échelle. Ainsi fut déterminé un point où devait aboutir une cheminée entrevue lors de la dernière exploration.

Les travaux de creusement débutèrent au printemps 1960 et cela jusqu'en automne sans fournir de grand résultat. C'est alors que, reprenant le problème par sa base



se, une équipe composée de l'abbé Jacques STAS et de Bernard MAGOS, soutenue par Jean Pierre VAN DEN ABEELE, John DEGANS et Pierre D'URSEL, retourna sur place. Après trois jours de travaux, ils réussirent la jonction entre la prairie extérieure et la salle terminale. La percée eut lieu le lundi 6 mars 1961 à 17 h.20. Les Grottes de Hotton étaient redécouvertes.

Durant l'été 1961, sous la direction de l'architecte et spéléologue Paul VANDERSLEYEN, les travaux d'aménagement ont débutés.

## HYPOTHÈSE SUR L'ORIGINE DU RUISSEAU SOUTERRAIN DE HOTTON.

Le ruisseau souterrain de la grotte de Hotton coule d'ouest en est. Sa resurgence se trouve à la limite des deux communes de Hotton et de Hampteau, en face de la carrière Calozet.

Il est probablement alimenté par plusieurs ruisselets qui coulent généralement du Sud au Nord, sur les terrains coblentien, schisteux et gréseux. Ces ruisselets se perdent à la limite de la bande de calcaire givétien dans lequel ils pénètrent. Le point d'absorption le plus éloigné de la grotte se situe à Verdenne à 4250 m.

Toutefois il se pourrait bien que l'origine du ruisseau souterrain de Hotton soit le ruisselet dit "le Gauche". Ce dernier prend sa source sur les hauteurs dominant le hameau de Menil-Favay au sud, dans les bois de Hampteau. A 800 mètres de Menil-Favay il se perd en plein massif givétien. Cette perte, malgré les travaux entrepris, n'est pas pénétrable dans son état actuel. Nous envisageons de colorer ce ruisseau.

## ACHÈVEMENT DE L'EXPLORATION.

Sous l'active direction de son président Fernand PEETERS, le spéléo-club de Belgique va poursuivre ses travaux à Hotton. Nos buts futurs sont:

- découvrir l'origine du ruisseau souterrain;
- découvrir les salles qui prolongent le deuxième étage en amont de la salle de l'Autel. Une galerie a été entrevue à travers une étroiture.
- découvrir le prolongement de l'étage supérieur. En effet, B. MAGOS avait commencé à déblayer un orifice dans la salle de la Persévérance. Actuellement, cette salle est remplie de déblais provenant des travaux d'aménagement.
- établir la liaison effective entre la grotte de Hotton et une grotte inférieure (Grotte Comtempné).
- établir une liaison entre la galerie Joséphine-Charlotte et la Galerie du Spéléo-Club de Belgique.

## INDICE DE CAVITATION.

Avant de terminer ce bref exposé concernant une des merveilles de la Belgique souterraine je citerais l'indice de cavitation. Il est de 2 658 000 m<sup>3</sup>.



Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology

SEKTION I

---

Helmut FRANK

VERSCHIEDENE HÖHLENTYPEN DER SCHWÄBISCHEN ALB

Die Schwäbische Alb hat eine Weißjuraschicht (Malm) von einer Mächtigkeit von 350 m. Die einzelnen Unterschichten, Alpha als die unterste bis Zeta als die oberste Schicht, sind sehr gut ausgeprägt. So bestimmen die Gesteinsschichten die Formen und Anlagen der einzelnen Höhlen. Die meisten Höhlen sind sekundärer Art.

WEISSJURA ALPHA

Diese Schicht liegt noch nicht in der Verkarstungszone und enthält somit auch keine Höhlen.

WEISSJURA BETA

Diese Schicht liegt am nördlichen Albrand, der Neckarseite zu, schon in der Verkarstungszone.

Weißjura Beta ist sauber geschichtet, mit Bänken zwischen 20 und 30cm. Fast alle im Beta liegenden Höhlen sind ausgesprochene Schichtfugenhöhlen und gleichzeitig aktive Wasserhöhlen. Meistens bestehen diese Höhlen nur aus einem wasserführenden Gang ohne Höhenunterschiede bei ziemlich gleichliegender Decke. Größere Räume fehlen gänzlich, was insofern verständlich ist, da diese dünnen Schichten eine weitgespannte Decke sowieso nicht tragen würden.

Als Beispiel für diese Beta-Höhlen haben wir die Brunnensteghöhle, das Goldloch und als größte Höhle das Mordloch mit über 2000 m Länge.

WEISSJURA GAMMA

Diese Schicht hat überhaupt keine Höhlen, da das Gestein mergelig ist.

WEISSJURA DELTA

Diese Schicht ist der Haupthöhlenträger des Schwäbischen Alb. Sie wird wiederum in vier Untergruppierungen aufgegliedert, von Delta 1 - 4.

Diese Untergliederungen sind in sich wieder sehr ausgeprägt. Die Deltaschicht reicht größtenteils schon bis zur Oberfläche; in diesem Fall sind die darüberliegenden Schichten bereits abgetragen. Die Haupthöhlen im Delta sind Schachthöhlen, deren Eingänge auf der Hochfläche der Alb liegen. Diese Schächte führen meist senk-

recht in die Tiefe. Sie haben horizontale Fortsetzungen fast ausschließlich dort, wo die Schichten wechseln, z.B. zwischen Delta 4 und 3 u.s.w. (Vgl. Tiefenhöhle Lai-chingen). Diese horizontalen Gänge sind ehemalige Abflussspalten, als die Karstwasserschicht noch in diesen Höhlen lag.

Wie vorhin schon angeführt, ist die Karstwasserschicht am nördlichen Albrand bereits auf einer Tiefe von Beta, in einigen Fällen in Delta 1, also der untersten Deltaschicht. So liegt z.B. die Falkensteiner Höhle im Delta 1 mit dem heutigen Austritt der Karstwassers im Gebiet von Urach.

Ebenfalls auf der Hochfläche im Delta haben wir Horizontalhöhlen, die sehr oft als Durchgangshöhlen angesprochen werden können, da diese sekundären Höhlen erst nach der Abtragung des Gesteins auf der Hochfläche angeschnitten wurden.

Das heißt also, daß der größte Teil der Höhlen zerstört ist und nur dort, wo eine Erhöhung stehengeblieben ist, befindet sich heute noch ein Rest ehemaliger Großhöhlen.

Als Beispiel die Bärenhöhle und die Nebelhöhle. Oftmals tritt auch der Fall ein, daß derartige Höhlen von einem Tal durchschnitten wurden, so daß heute ein Rest der Höhle auf der einen und der andere Rest auf der anderen Talseite vorhanden sind. Als Beispiel die Jakobshöhle und auf der anderen Seite des Tales die Roßgallhöhle.

#### WEISSJURA EPSILON

In der Epsilonschicht befinden sich nicht allzuvielen Höhlen. Meistens sind sie kleinerer Art und sind ebenfalls Reste ehemaliger größerer Systeme.

#### WEISSJURA ZETA

Für diese Schicht gilt dasselbe wie für Epsilon. Es gibt einige interessante Fälle, wo die Höhlen genau zwischen Epsilon und Zeta liegen und als Schichtfugenhöhlen ausgebildet sind, d.h. der Boden der Höhle ist Epsilon, während die Decke Zeta ist. Epsilon ist sehr oft dolomitisiert und derart verschwammt, daß man oft weder Tektonik noch Schichtfuge feststellen kann. Am Albrandgebiet finden wir öfters Verwerfungs- und Klufthöhlen, die durch Verschiebung bei der Abtragung des Hanges entstanden sind und also weder Korrosion noch Erosion haben. Diese Höhlen sind primärer Art.

In einigen Tälern, wie im Donau- und Lauchertal, gibt es einige allerdings sehr kleine Uferhöhlen, die durch Erosion von den dortigen Flüssen geschaffen wurden. In einigen Tälern, z.B. im Fischbachtal, haben wir große primäre Tuffbarriaden, in denen kleinere Tuffhöhlen liegen.

So gibt es auf der Schwäbischen Alb eine recht ansehnliche Zahl von verschiedenen Höhlen, die es wert sind, erforscht zu werden.

#### Diskussion.

TRIMMEL: Ich möchte auf die Erwähnung zurückkommen, die H. FRANK im Hinblick auf das Auftreten von Höhlen an der Grenze verschiedener Gesteine - etwa Epsilon und Zeta - in der Alb gemacht hat. Ich glaube, daß dieser Höhlentyp genetisch und in den Entwicklungsbedingungen von den normalen Schichtfugenhöhlen abweicht. Ich möchte daher die Gelegenheit benutzen, um auf eine Frage der Terminologie hinzuweisen. Ich habe vorgeschlagen, für diesen Höhlentyp, der auch in den österreichischen Höhlengebieten eine Rolle spielt, die Bezeichnung Schichtgrenzhöhle einzuführen. Ich glaube, daß damit ein klarer und brauchbarer Fachausdruck für dieses Phänomen gegeben wäre.

BLEICH: Die Höhlenbildung auf der Alb erfolgt selektiv; bei geschichteten Kalken mit Mergelzwischenlagen entsteht die Höhle stets in der relativ kalkreichsten Partie.

Bei Fazieswechsel zwischen geschichtet und verschwammt sind Karsterscheinungen stets auf den verschwamnten Teil beschränkt. Eine große Anzahl von Dolinen sind in Wirklichkeit sekundäre Wasserschlucklöcher in einer riesigen Lehmwanne, die eine verfüllte Doline darstellt. Dies konnte beim Bau der Bodenseewasserversorgung beobachtet werden, die vom Bodensee über die Alb nach Stuttgart führt.

BINDER: Die von Herrn Dr. BLEICH geschilderte Art der Dolinen, wie sie beim Bau der Bodenseewasserversorgung angetroffen wurde, scheint nicht sehr verbreitet zu sein. Derartige Dolinen fehlten in dem beim Bau der Wasserleitung von Blaubeuren nach Kirchheim/Teck (Blau-Lauter-Gruppe der Albwasserversorgung) ausgehobenen Graben, der abgegangen wurde. Dort wurden nur Dolinen herkömmlicher Art angetroffen.

## VERGLEICHENDE BETRACHTUNGEN DER GESTALT UND DER GENESE DER HÖHLEN DES RHEINISCHEN SCHIEFERGEBIRGES

Im Rheinischen Schiefergebirge wurden seit dem Devon bis ins Karbon und weisse immer wieder Kalk abgelagert. Entsprechend der Verbreitung der stratigraphischen Einheiten sind die Kalkvorkommen auf das Saarland, das Bergische Land, das Lahn-Dill-Gebiet, die Eifel und die Strombergswende (Hunsrück) beschränkt. Im Jauerland und im Bergischen Land sind die meisten dieser Kalkvorkommen durch ihre Mächtigkeit und häufig lokal begrenzt. Nur der rheinisch-westfälische Karst, der vom oberen Mitteldevon bis ins untere Oberdevon (als Dorser und Harter Karst) hinaufreicht, weist Mächtigkeiten von mehreren hundert Metern auf und ist als regionale Verbreitung.

Die Mehrzahl der Kalkvorkommen sind Rifffaltungen. Alle Kalksteine sind tektonischen Faltung unterworfen und sind dementsprechend tektonisch zerlegt. Die Kalksteine wurden mit wenigen Ausnahmen spätestens im Tertiär von der Erosion durchgeschnitten und unterliegen seitdem der zerstörenden Kraft der Erosion. Die Karsterscheinungen sind deshalb weit verbreitet, und nur in isolierten Gebieten findet sich wenigstens eine Höhle.

Der Verfasser hat alle Kalkvorkommen im Saarland, im Bergischen Land sowie auch einige im übrigen Rheinischen Schiefergebirge untersucht und sie systematisch erfaßt. Im hiesigen Gebiet fanden sich 31 Höhlen, die bis heute bekannt sind oder doch bis vor Kurzem begreifbar waren. Entsprechend der großräumigen Verbreitung enthält der Massenkalk etwa die Hälfte der Höhlen, die sonst auf die übrigen stratigraphischen Einheiten. Eine intensive geologische Kartierung der Höhlen erfolgte bisher nicht. Lediglich über wenige Höhlen sind bereits eingehende Arbeiten erschienen. Veröffentlichungen detaillierter Natur der Höhlen liegen nur von der Aggertalhöhle bei Runderod und von der Höhle von Trübenbach vor (HOLZ, 1960 und 1961(b)). Am Beispiel der Aggertalhöhle wurde die Genese der Höhle in gefalteten Kalksteinen analysiert und der Einfluß der tektonischen und geomorphologischen Gegebenheiten auf die Genese dargestellt.

Eine vergleichende Betrachtung der Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges soll zeigen, ob und inwieweit die am Beispiel der Aggertalhöhle aufgestellten geologischen Vorgänge und Abhängigkeiten auch in den übrigen Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges festgestellt werden können. Die vorliegende Untersuchung soll kein abschließendes Urteil zu dieser Frage geben, sondern lediglich einen Beitrag





SEKTION I

Hans Werner HOLZ

VERGLEICHENDE BETRACHTUNGEN DER GESTALT UND DER  
GENESE DER HÖHLEN DES RHEINISCHEN SCHIEFERGEBIRGES

Im Rheinischen Schiefergebirge wurden seit dem Devon bis ins Karbon zeitweise immer wieder Kalke abgelagert. Entsprechend der Verbreitung der stratigraphischen Einheiten sind die Kalkvorkommen auf das Sauerland, das Bergische Land, das Lahn-Dill-Gebiet, die Eifel und die Strombergmulde (Hunsrück) beschränkt. Im Sauerland und im Bergischen Land sind die meisten dieser Kalkvorkommen von geringer Mächtigkeit und häufig lokal begrenzt. Nur der rheinisch-westfälische Massenkalk, der vom oberen Mitteldevon bis ins untere Oberdevon (als Dorper und Iberger Kalk) hinaufreicht, weist Mächtigkeiten von mehreren hundert Metern auf und besitzt regionale Verbreitung.

Die Mehrzahl der Kalkvorkommen sind Riffbildungen. Alle waren der variskischen Faltung unterworfen und sind dementsprechend tektonisch beansprucht. Die Kalke wurden mit wenigen Ausnahmen spätestens im Tertiär von der Geländeoberfläche angeschnitten und unterliegen seitdem der zerstörenden Kraft der Atmosphären. Karsterscheinungen sind deshalb weit verbreitet, und fast in jedem Kalkvorkommen findet sich wenigstens eine Höhle.

Der Verfasser hat alle Kalkvorkommen im Sauerland und im Bergischen Land sowie auch einige im übrigen Rheinischen Schiefergebirge bereist und dort alle Höhlen systematisch erfaßt. Im bereisten Gebiet fanden sich 93 Höhlen, die zur Zeit begehbar sind oder doch bis vor kurzem begehbar waren. Entsprechend seiner großen Verbreitung enthält der Massenkalk etwa die Hälfte der Höhlen; die anderen verteilen sich auf die übrigen stratigraphischen Einheiten. Eine intensive geologische Bearbeitung der Höhlen erfolgte bisher nicht. Lediglich über wenige Höhlen sind kurze beschreibende Arbeiten erschienen. Veröffentlichungen detaillierter Untersuchungsergebnisse liegen nur von der Aggertalhöhle bei Runderoth und von der Wiehler Tropfsteinhöhle vor (HOLZ, 1960 und 1961(b)). Am Beispiel der Aggertalhöhle wurde die Genese einer Höhle in gefalteten Kalksteinen analysiert und der Einfluß der tektonischen und petrographischen Gegebenheiten auf die Genese dargestellt.

Eine vergleichende Betrachtung der Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges soll zeigen, ob und inwieweit die am Beispiel der Aggertalhöhle aufgezeigten speläogenetischen Vorgänge und Abhängigkeiten auch in den übrigen Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges festgestellt werden können. Die vorliegenden Ausführungen wollen kein abschließendes Urteil zu dieser Frage geben, sondern lediglich einige Gesichts-

punkte aufweisen und den Grundstock für zukünftige Arbeiten legen. Diese Arbeiten müßten auf weiteren detaillierten Untersuchungen einzelner Höhlen fußen. (vergleiche hierzu: HOLZ, 1962).

In der Aggertalhöhle überwiegen die Klufthöhlenräume zahlenmäßig, Schichtfugenräume und Schichtgrenzhöhlenräume treten aber der Größe nach nicht hinter diesen zurück (Definitionen nach TRIMMEL, 1956). Die größten Räume der Höhle sind durch Schwund der Trennwände dicht benachbarter Klufthöhlenräume entstanden. Teilweise hat der Verbruch der Höhlendecken bei der Raumbildung eine entscheidende Rolle gespielt, vor allem bei der Erweiterung der Höhlenräume in das nicht verkarstungsfähige Nebengestein der Kalke. -- In den Runderother Kalken treten vier Kluftsysteme auf. Hiervon ist aber nur ein System speläogen, nämlich das der Q-Klüfte, die durch eine Zerrungsbeanspruchung des Gesteins entstanden sind. Schichtfugenhöhlenräume und Schichtgrenzhöhlenräume wurden unabhängig von Klüften angelegt.

Die Höhlenbildung hat in der Aggertalhöhle gleichzeitig an Klüften, Schichtfugen und leichter subrodierbaren Schichten angesetzt und ist dort überall gleichmäßig fortgeschritten. Die Höhlenräume bildeten sich zunächst bei voller Wassererfüllung. Später sank der Wasserspiegel ruckweise, lag innerhalb der Höhlenräume und verharrte dort öfters längere Zeit auf einem Niveau. Während solcher Perioden entstanden Lösungsdecken und Lösungskolke, wie sie inzwischen auch aus anderen Höhlenprovinzen beschrieben wurden (VIEHMANN und SERBAN, 1961). In der letzten Phase der Höhlenbildung schufen Sohlengerinne schmale Cañons an den Sohlen der Höhlenräume.

Die in der Aggertalhöhle zugänglichen Räume liegen mehr oder weniger auf einem Niveau. Die Höhlenbildung auf diesem Niveau wurde relativ frühzeitig abgebrochen, denn die Räume der Aggertalhöhle sind klein. Die Entwässerung der Runderother Kalke findet heute auf einem tieferen Niveau statt, wie sich durch hydrologische Untersuchungen feststellen ließ. In diesem tieferen Niveau dürfte heute die Höhlenbildung fortschreiten.

Bei der ersten Auswertung des Materials, das bei der Bereisung der rheinisch-westfälischen Höhlen zusammengetragen wurde, fällt zunächst auf, daß viele Höhlen fast ausschließlich oder doch überwiegend aus Klufthöhlenräumen bestehen. Sehr oft ist nur ein Kluftsystem speläogen, häufig auch zwei, gelegentlich sogar vier. Stets aber überwiegt die speläogenetische Bedeutung eines Systems. -- Wenige Höhlen bestehen nur aus Schichtfugen- und Schichtgrenzhöhlenräumen. Die Schichtgrenzhöhlenräume weisen oft einen mäandrierenden Verlauf auf. Mitunter sind in den Mäandern regelrechte Prallhänge und Gleithänge ausgebildet. In den Höhlen, in denen nur ein Höhlenraumtyp voll entwickelt ist, treten zumeist die anderen Höhlentypen in Embryoanlage auf. In den größeren Höhlen und Höhlensystemen sind alle drei Höhlenraumtypen - oder zumindest doch deren zwei - kombiniert. Dabei ist der häufigste Fall der, daß die Klufthöhlenräume zahlenmäßig überwiegen. Gelegentlich treten aber auch die Schichtgrenzhöhlenräume stärker hervor. Die Bildung der kombinierten Höhlen beginnt in den meisten Fällen an den Klüften und greift von dort aus auf Schichtfugen und leicht subrodierbare Gesteinspartien über.

Die Genese der Höhlen ist fast immer in drei Epochen erfolgt, die schon am Beispiel der Aggertalhöhle erarbeitet werden konnten: 1. Epoche der Gesamterfüllung der Höhlenräume mit Wasser- 2. Epoche der Teilerfüllung der Höhlenräume mit Wasser- 3. Epoche der Sohlengerinne. Der Übergang von einer Epoche in die andere ist die Folge einer Tieferlegung des Vorfluters und einer Erweiterung der Systeme, die das Wasser ableiten. Da diese Vorgänge nicht sprunghaft, sondern kontinuierlich erfolgten, fand auch der Übergang von einer Epoche in die andere kontinuierlich statt. So kam es z. B. zu Beginn der zweiten Epoche durchaus noch vor, daß alle Räume einer Höhle längere Zeit unter Wasser standen.

Die Profile der Höhlenräume und das Relief der Höhlenwände lassen erkennen, daß die Höhlenbildung teils durch schnell fließendes, teils durch langsam fließendes Wasser erfolgte. In Teilen einiger Höhlen verweilte das gleiche Wasser längere Zeit, ohne erneuert zu werden. Es bildeten sich dann Räume, deren Profile einem auf

die Spitze gestellten Dreieck entsprechen. Diese Profile entstanden dadurch, daß die im Wasser gelösten Karbonate sich im unteren Teil der Lösung anreicherten und die Subrosion im karbonatärmeren Wasser im oberen Teil des Höhlenraumes schneller voranschreiten konnte. Dabei kam es zur Kalkausscheidung im unteren gesättigten Teil der Lösung. Hiedurch wurde die Lösung verdünnt und das Wasser im oberen Teil des Raumes für weitere Subrosion regeneriert. Es erfolgte ein regelrechter Stofftransport vom oberen Teil des Höhlenraumes zum unteren Teil, und es kam zur Ausscheidung von Sinter schon während der Subrosionsphase. Die Entstehung solcher Dreiecksprofile dürfte während der zweiten Höhlenbildungsepoche erfolgt sein, als tiefer gelegene, abflußlose Teile eines Höhlensystemes noch völlig mit Wasser erfüllt, vom übrigen Höhlensystem aber hydraulisch getrennt waren.

In einem Teil der Höhlen liegen alle Räume auf einem Niveau. In manchen Höhlen gehören die Räume verschiedenen Stockwerken an, die nur durch wenige Räume miteinander verbunden sind. In anderen Höhlen wiederum sind die Räume unregelmäßig über mehrere Zehnermeter in der Vertikale verteilt. Die Stockwerkgliederung der Höhlen ist zum Teil der Gesteinsbeschaffenheit zuzuschreiben. Zum Teil scheinen die Räume der verschiedenen Stockwerke in verschiedenen Höhlenbildungszyklen entstanden zu sein.

Die meisten Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges besitzen nur kleine Räume. Die Höhlenbildung war demnach auf einen kurzen Zeitraum beschränkt oder sie erfolgte nur sehr langsam.

Deckenverbrauch fand teilweise in der ersten Höhlenbildungsepoche, teilweise in der zweiten Höhlenbildungsepoche statt. Im ersten Fall sind die kantigen Verbrauchformen an den Ausbruchstellen und an den gestürzten Massen an der Höhlensohle bereits wieder verwachsen. Im zweiten Fall zeigen die Ausbruchstellen noch frische Verbrauchformen und nur die verstürzten Massen sind vom Wasser angegriffen. In einigen Höhlen sind auch die verstürzten Massen noch frisch. Dort erfolgte der Verbrauch erst gegen Ende der zweiten Epoche. Heute sind Decken und Wände der Höhlenräume fast ausnahmslos standfest. Nur wo Verbrauchvorgänge bereits in der ersten oder zweiten Epoche eingeleitet waren und versturzträchtige Massen nur noch durch geringe Gesteinsstege im Gleichgewicht gehalten werden, kann es durch die lösende Tätigkeit des Sickerwassers oder durch Verwitterung an diesen Gesteinsstegen zum Versturz kommen.

Die Sedimentation des Höhlenlechmes kann bereits in der ersten Höhlenbildungsepoche begonnen haben, erfolgte aber hauptsächlich während der zweiten Epoche. Die Abscheidung des Sinters fand zum Teil schon während der zweiten Epoche statt, hielt während der dritten Epoche an und dauert bis heute fort. In der Regel besteht der Sinter in den rheinisch-westfälischen Höhlen aus Kalkspat, gelegentlich aber auch aus Aragonit. Die Bildung von Aragonit ist auf die Anwesenheit von Lösungsgegnossen im Sinter abscheidenden Wasser zurückzuführen (vergleiche: HOLZ, 1961 a; SKRIVANEK 1961).

Als erstes Fazit der vergleichenden Betrachtungen der Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges kann folgendes gelten: Einen bestimmten rheinisch-westfälischen Höhlentyp gibt es nicht. Jede Höhle ist ein Individuum mit vielen nur für sie charakteristischen Eigenschaften. Allenfalls können gewisse Parallelen zwischen den einzelnen Höhlen gezogen werden. Auch lassen sich mehrere einander ähnliche Höhlen zu Gruppen zusammenfassen. Zu solchen Gruppen gehören etwa reine Klufthöhlen, reine Schichtfugen- bzw. Schichtgrenzhöhlen, kombinierte Höhlen. Die Gruppenzugehörigkeit ist durch gleiche petrographische Beschaffenheit und tektonische Beanspruchung des Höhlenmuttergesteins bedingt. Alle bereisten Höhlen haben nahezu den gleichen Bildungsgang durchlaufen. Über Bildungsdauer und Bildungszeit der einzelnen Höhlen lassen sich vorerst noch keine Angaben machen.



# LITERATUR:

- HOLZ H. W., Geologie der Höhlen von Runderoth und Wiehl und ihrer Umgebung (Rheinisches Schiefergebirge).- Decheniana, 113, 1 - 38, Bonn 1960.
- ., Aragonit-Sinter als geologisches Thermometer.- Ztschr.d.deutsch.geol.Ges. 112, 513 - 514, Hannover 1961 (a).
- HOLZ H. W., Geologie und Speläologie der Aggertalhöhle bei Runderoth.- Jh. f.Karst- und Höhlenkunde, 2, 29 - 43, München 1961 (b).
- ., Aufgaben und Ziele der speläogeologischen Forschung im Rheinischen Schiefergebirge.- Mitt.des Verb.d.Deutschen Höhlen-und Karstforscher, 8, 6-7, München 1962
- SKRIVANEK S., Das Vorkommen von Aragonit in Höhlen der Tschechoslowakei. - Akten des dritten Int. Kongresses f.Speläologie, Bd.A, 34-35, Wien 1961
- TRIMMEL H., Die westliche Almbergeishöhle bei Obertraun (Oberösterreich).- Die Höhle, 7, 16 - 28, Wien 1956.
- VIEHMANN I. und SERBAN M., Über die Entstehung der flachen und horizontalen Höhlendecken. - Akten des Dritten Internationalen Kongresses für Speläologie, Bd.A. 40 - 41, Wien 1961.



SEKTION I

---

Albert CAVAILLE

L'AGE DES GROTTES DU QUERCY.

Le karst des Causses du Quercy apparait assez simple au premier abord. Les Causses sont constitués par des masses de calcaire jurassique relativement homogènes, peu déformés par la tectonique, reposant sur un substratum marneux liasique. Les rivières allochtones les ont compartimentés en régions karstiques isolées, Causse de Martel, Causse de Gramat, Causse de Saint-Chels, Causse de Limogne; chacune de ces régions présente des phénomènes karstiques superficiels et un karst profond, se manifestant à la fois par des pertes et des résurgences en activité et par des grottes et des gouffres explorables selon les dimensions très variables.

La morphologie a été étudiée par René CLOZIER, qui a dressé une analyse précise et exacte des formes. Le karst profond a fait l'objet de nombreuses études particulières et de quelques essais de synthèse, dont les principales, après celles d'E.A. MARTEL, ont été publiées dans les Annales de Spéléologie (B. GÈZE, de LAVAU, A. CAVAILLÉ, etc.).

B. GÈZE notamment a montré que les poches à phosphorite du Quercy, exploitées au début du siècle, étaient les restes d'un karst profond fossilisé par un remplissage d'origine variée, détritique, chimique ou organique. Les dépôts de sables et argiles rouges, les concrétions de calcite, de phosphorite, de limonite pisolitique, de pyrolusite, sont datés par la présence d'une très riche faune, comprenant des animaux de toutes classes, allant du Lutétien supérieur au Stampien supérieur et peut-être aussi à l'Aquitainien inférieur, c'est-à-dire à la fin de la période pendant laquelle s'est édifiée la surface éogène et s'est déposé le siérolithique. Ces derniers sédiments ont fossilisé la pénéplaine, comme les phosphorites et les dépôts divers qui y sont associés ont fossilisé les grottes et gouffres dont elle était creusée.

L'étude de ce karst éogène nous montre qu'il constitue au moins un système karstique.

Fossilisé dans les parties basses de la pénéplaine éogène, il semble être resté béant, ou seulement encombré d'éboulis dans les parties élevées de cette surface (de 350 à 450 m). Les parties supérieures des grands gouffres verticaux du Causse de Gramat, quelques grandes igues du Causse de Limogne (par exemple l'Igue de Parro) pourraient aussi dater de l'éocène.

Nous avons en tout cas un karst éocène dont l'histoire paraît simple, et bien datée par les fossiles.

L'histoire de la karstification quaternaire, dont nous voulons nous occuper surtout, est plus difficile à déterminer avec précision. La même complexité se rencontre dans la morphologie néogène et quaternaire, mais on peut arriver à des conclusions assez détaillées si on associe les observations morphologiques et les résultats des explorations spéléologiques.

## LE KARST ACTUEL: LES RESURGENCES.

Pour tenter une chronologie, nous étudierons d'abord le système karstique actuel, formé essentiellement par le réseau souterrain qui alimente les grandes sources. Nous avons déjà essayé de reconstituer, par la comparaison des débits, l'aire d'alimentation de ces diverses sources.

Le spéléologue n'a que rarement l'occasion d'observer ces cavernes en pleine jeunesse; il faut des sécheresses exceptionnelles, ou des moyens techniques coûteux (pompages, destruction de siphons) pour y parvenir.

Ces galeries sont le plus souvent en dessous du niveau des rivières actuelles: 60 M. à la Fontaine des Chartreux, 42 M. à la Fontaine Saint-Georges, 45 M. au Gourp de Fénétyrols; dans ces cas, elles échappent à l'exploration directe, en dehors de la zone qu'on peut atteindre par plongées.

Les expériences de coloration montrent bien que la karstification peut se produire en dessous du niveau actuel des eaux. Le cas des sources de Touzac - Soturac, sous le lit du Lot, étudié par de LAVAUR, n'est pas unique. Cette année, à Cazals (Tarn-et-Garonne) la coloration du ruisseau souterrain de la grotte des Vipères, qui coule à peu près au niveau de l'Aveyron, a montré que deux sources, situées à quelque 50 ou 80 cm. au dessus du niveau d'étiage, mais une sur chaque rive, avaient une alimentation commune passant sous le lit de la rivière et sans communication avec lui. La coloration de la perte du Saut du Loup, à quelques kilomètres en amont de Cazals, faite par B. GEZE et moi-même en 1955, avait également prouvé la réalité d'une circulation souterraine sous le lit de l'Aveyron.

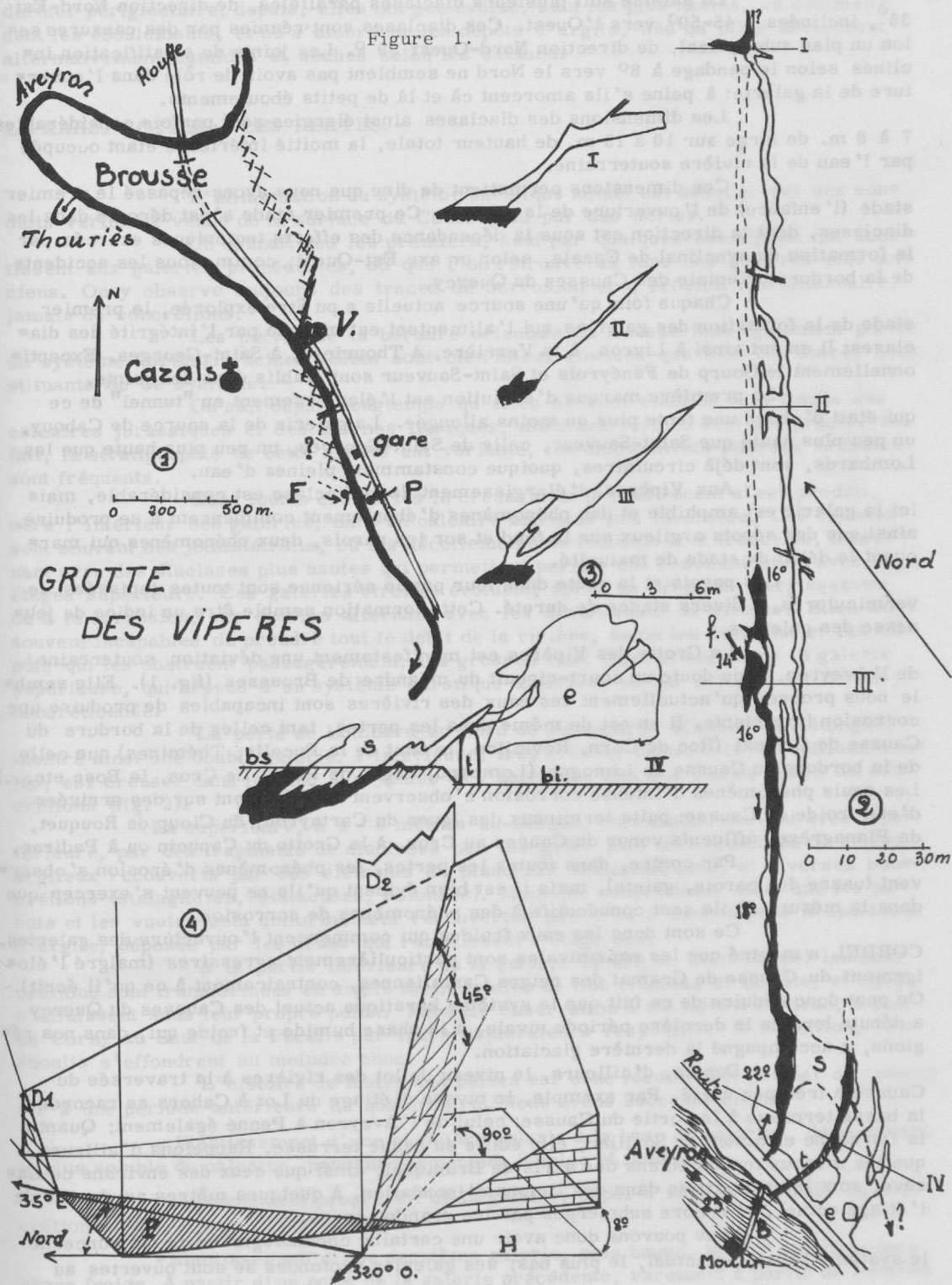
Ces chenaux actifs peuvent être explorés; j'en ai décrits quelques-uns dans mon étude sur le bassin karstique de la Lère; par exemple, la Source de la Verrière est alimentée par des galeries montrant les joints et les diaclases plus ou moins aggrandies, hérissées de lames à arêtes aigües, de protubérances tranchantes, creusées de cupules anguleuses, gaufrées de dépressions parfois régulières. On sait que des phénomènes de corrosion sous pression peuvent expliquer ces formes.

L'exploration récente de la galerie de la grotte des Vipères en montre un nouvel exemple (Fig. 1).

Figure 1: Grotte des Vipères.

- 1 - Plan d'ensemble. V: entrée de la grotte. P et F: fontaines de la Pescadouyre et du Fontet.
- 2 - Plan de la grotte. B: barrage sur l'Aveyron. e: entrée. t: aqueduc artificiel. S: siphon dont on a fait sauter la voute. 14° à 23°: températures de l'eau le 1er septembre 1961. Les flèches indiquent le sens du courant. f: arrivée d'eau froide. I à IV: traces des coupes.
- 3 - Coupes perpendiculaires à la galerie. Sur la coupe IV: e: entrée. S: Siphon. bs: bief supérieur de l'Aveyron; bi: bief inférieur de l'Aveyron. t: aqueduc.
- 4 - Diagramme des fractures du calcaire. H: plan horizontal. P: surface des bancs calcaires, pendage 8° N. D1: premier plan des diaclases, direction 35° NE, inclinaison 45° vers l'Ouest. D2: deuxième plan des diaclases subvertical, direction 320° NO.

Figure 1.



La galerie suit plusieurs diaclases parallèles, de direction Nord-Est 35°, inclinées à 45-50° vers l'Ouest. Ces diaclases sont réunies par des cassures selon un plan subvertical, de direction Nord-Ouest 39°. Les joints de stratification inclinés selon le pendage à 8° vers le Nord ne semblent pas avoir de rôle dans l'ouverture de la galerie: à peine s'ils amorcent cà et là de petits éboulements.

Les dimensions des diaclases ainsi élargies sont parfois considérables: 7 à 8 m. de large sur 10 à 15 m. de hauteur totale, la moitié inférieure étant occupée par l'eau de la rivière souterraine.

Ces dimensions permettent de dire que nous avons dépassé le premier stade (l'enfance) de l'ouverture de la galerie. Ce premier stade s'est déroulé dans les diaclases, dont la direction est sous la dépendance des efforts tectoniques exercés par la formation du synclinal de Cazals, selon un axe Est-Ouest, comme tous les accidents de la bordure orientale des Causses du Quercy,

Chaque fois qu'une source actuelle a pu être explorée, le premier stade de la formation des galeries qui l'alimentent est marqué par l'intégrité des diaclases: Il en est ainsi à Livron, à la Verrière, à Thourieys, à Saint-Georges. Exceptionnellement le Gourp de Fénétyrols et Saint-Sauveur sont établis dans des joints.

La première marque d'évolution est l'élargissement en "tunnel" de ce qui était d'abord une fente plus ou moins allongée. La galerie de la source de Cabouy, un peu plus haute que Saint-Sauveur, celle de Saint-Georges, un peu plus haute que les Lombards, sont déjà circulaires, quoique constamment pleines d'eau.

Aux Vipères, l'élargissement de la diaclase est considérable, mais ici la galerie est amphibie et des phénomènes d'éboulement commencent à se produire, ainsi que des sépots argileux sur le fond et sur les parois, deux phénomènes qui marquent le début du stade de maturité.

Les parois et la voute dans leur partie aérienne sont toutes tapissées de vermiculures, à divers stades de dureté. Cette formation semble être un indice de jeunesse des galeries.

La Grotte des Vipères est manifestement une déviation souterraine de l'Aveyron, sans doute un court-circuit du méandre de Brousses (fig. 1). Elle semble nous prouver qu'actuellement les eaux des rivières sont incapables de produire une corrosion importante. Il en est de même dans les pertes, tant celles de la bordure du Causse de Gramat (Roc de Corn, Réveillon, le Saut de la Pucelle, Thémines) que celle de la bordure du Causse de Limogne (Lombard, Ligue de Pers, Le Cros, le Bosc etc...). Les seuls phénomènes d'intense corrosion s'observent actuellement sur des arrivées d'eau froide du Causse: puits terminaux des Igues du Cartayrou, du Cloup de Rouquet, de Planagrèze, affluents venus du Causse au Cros, à la Grotte du Capucin ou à Padirac.

Par contre, dans toutes les pertes, les phénomènes d'érosion s'observent (usure des parois, galets), mais il est bien évident qu'ils ne peuvent s'exercer que dans la mesure où ils sont consécutifs à des phénomènes de corrosion.

Ce sont donc les eaux froides qui commencent l'ouverture des galeries. CORBEL a montré que les eaux nivales sont particulièrement agressives (malgré l'éloignement du Causse de Gramat des neiges Cantaliennes, contrairement à ce qu'il écrit). On peut donc déduire de ce fait que le système karstique actuel des Causses du Quercy a débuté lors de la dernière période nivale, à la phase humide et froide qui, dans nos régions, a accompagné la dernière glaciation.

Depuis, d'ailleurs, le niveau du lot des rivières à la traversée du Causse a très peu varié. Par exemple, le niveau d'étiage du Lot à Cahors se raccorde à la basse terrasse à la sortie du Causse; celui de l'Aveyron à Penne également; Quant à la Dordogne en amont de Souillac, elle édifie sa basse terrasse. Rappelons d'ailleurs que les niveaux magdaléniens des abris de Bruniquel, ainsi que ceux des environs de La cave, sont interstratifiés dans des limons d'inondation, à quelques mètres au-dessus de l'étiage actuel, et encore submergés par les grandes crues.

Nous pouvons donc avoir une certaine chronologie en ce qui concerne le système karstique actuel, le plus bas; ses galeries profondes se sont ouvertes au



dernier périglaciaire; depuis, elles ont peu évolué, sauf les plus hautes, où commencent les éboulements, et où s'amorcent les dépôts d'argile, dès qu'elles deviennent alternativement humides et sèches selon les saisons.

## LE KARST ACTUEL: LES PERTES.

L'alimentation du système karstique actuel est assurée par des conduits verticaux venus de la surface du Causse, ou par des pertes.

On connaît peu les premiers, sauf par quelques cheminées qui aboutissent aux galeries précédentes, où que l'on retrouve au fond des gouffres plus anciens. On y observe toujours des traces de corrosion et d'érosion tourbillonnaire, jamais de concrétions.

Les pertes de la bordure orientale du Causse font également partie du système karstique actuel. Elles sont bien mieux connues que tous les autres constituants de ce système.

On sait depuis longtemps qu'elles se sont établies à la limite des calcaires jurassiques et des marnes liasiques, mais ces termes sont peu précis. En fait, la stratigraphie de cette limite est variable, les changements latéraux de faciès sont fréquents.

Dans toutes ces pertes le creusement le plus récent s'est produit, vers l'intérieur des galeries, dans un calcaire marneux peu favorable. Les chenaux sont souvent des joints étroits, où les décollements de feuillets sont fréquents, alternant avec des diaclases plus hautes qui permettent parfois une communication avec les étages supérieurs. Ces galeries étroites évoluent, après un premier élargissement dû à la corrosion, par érosion alternant avec les décollements de strates. Elles sont souvent incapables de prendre tout le débit de la rivière, selon les érosions et les dépôts qui les obstruent passagèrement; les grosses eaux empruntent alors la galerie supérieure, qui dépend d'un système karstique antérieur et qui est plus ou moins concrétionnée.

La perte de Lombard au Nord de Puylagarde (Causse de Limogne) montre ainsi une double galerie; l'inférieure, très érodée, recouverte de cailloux roulés, est creusée dans le banc à gryphies de l'aalénien; elle n'a aucune trace de concrétions (fig. 2).

La supérieure, à 5 - 6 mètres au-dessus, correspond souvent avec l'inférieure, par des fragments de diaclases peu élargies. Elle est encombrée de dépôts argileux recouverts par des éléments de planchers stalagmitiques, et diverses concrétions (stalagmites, stalactites, colonnes). Mais ces concrétions, ainsi que les parois et les voutes sont uniformément recouvertes par 4 ou 5 centimètres d'épaisseur d'argile, déposée par les crues qui remplissent l'étage sec.

A la partie inférieure de la galerie (à 400 m. de l'entrée) les concrétions sont transformées en argile molle truffée de fins cristaux de calcite, et elles s'affaissent sous leur propre poids. Pareille observation a été faite à Padirac, à Roc de Corn, au Saut de la Pucelle par leurs explorateurs respectifs. A Réveillon, les éboulis s'effondrent au moindre choc.

L'histoire de toutes ces pertes est donc identique et permet de remonter à une période antérieure du quaternaire. Nous avons successivement:

- Etablissement d'une première galerie à la base du bajocien, dans le banc le plus soluble du calcaire, pendant une période humide et froide.

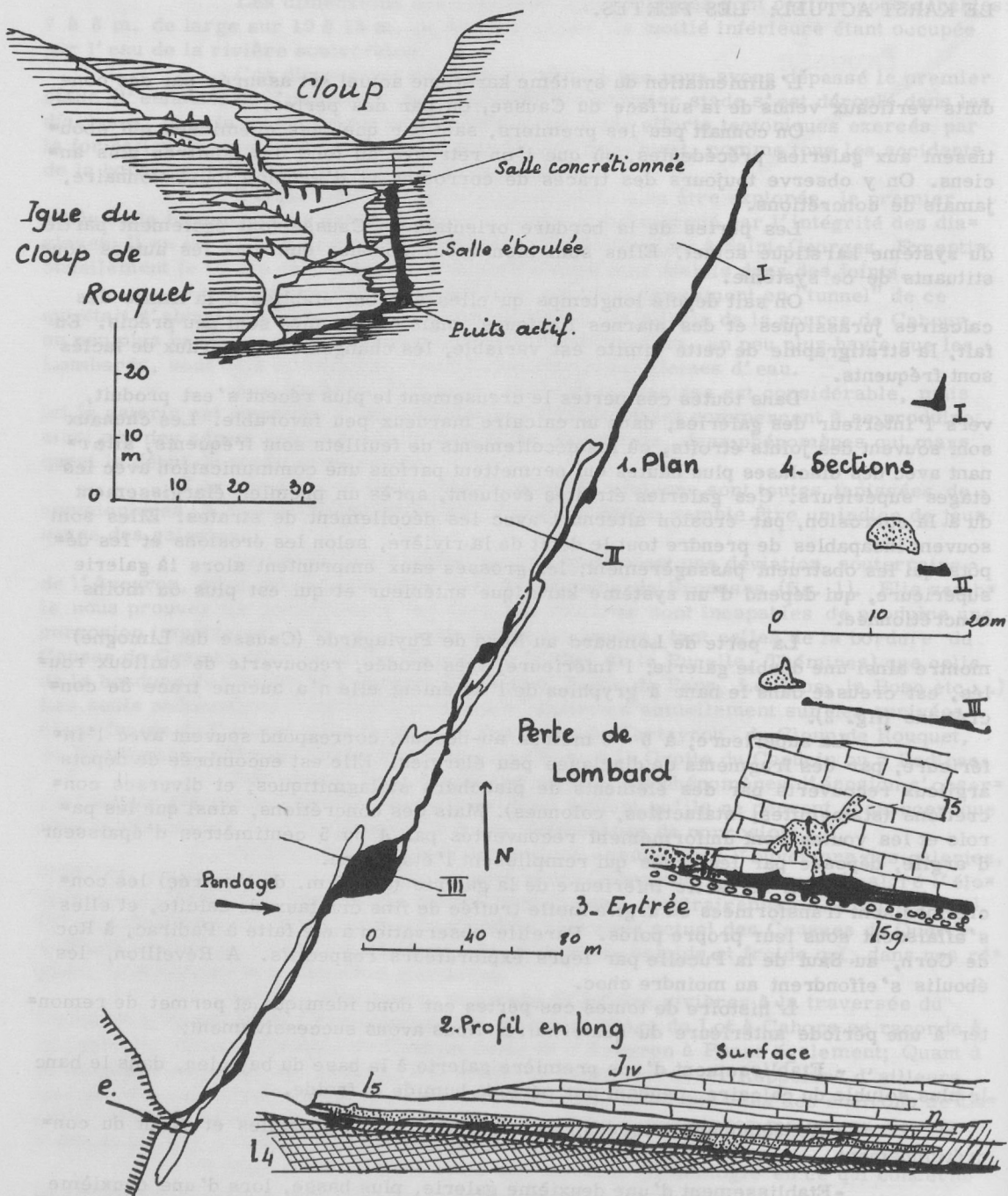
- Assèchement progressif de la galerie, dépôt d'argiles et début du concrétionnement.

- Etablissement d'une deuxième galerie, plus basse, lors d'une deuxième phase froide, à partir d'un point de la galerie précédente, rarement à partir de l'entrée



Figure 2.

Coupe de l'Igue du Cloup de Rouquet. - La perte de Lombard à Puylagarde.



même de la perte, dans les marnes assez peu solubles de l'Aalénien et Toarcien.

-Aggrandissement de cette galerie, assèchement total de la galerie supérieure, poursuite du concrétionnement.

-Erosion de la galerie inférieure, avec irrégularités de la pluviosité (crues) et envahissement intermittent de la galerie supérieure: c'est la phase actuelle.

Nous pourrions établir les concordances climatiques suivantes avec les derniers épisodes de l'histoire du quaternaire:

La galerie supérieure s'est ouverte à l'avant dernier périglaciaire (Riss); elle s'est asséchée et concrétionnée pendant l'interglaciaire Riss-Würm; la galerie inférieure s'est ouverte au début du dernier périglaciaire; elle évolue, tandis que la galerie supérieure se dégrade, à l'interglaciaire actuel.

Les pertes nous montrent la superposition de deux systèmes karstiques successifs. Ceux-ci ne sont indépendants que près de la perte, où nous pouvons trouver des galeries sèches et des galeries actives séparées. Vers l'intérieur, elles sont en relation l'une avec l'autre et les deux systèmes tendent à se rejoindre.

A l'autre bout, les galeries alimentant les résurgences de systèmes karstiques consécutifs sont le plus souvent séparées, comme le montrent les ensembles de grottes étagées le long des vallées. Mais si on remonte les galeries hautes, elles sont très vite colmatées par l'argile venue avec les eaux des crues depuis les galeries basses; l'établissement de planchers stalagmitiques scelle les bouchons d'argile. Parfois, les galeries hautes des résurgences servent de trop plein (Saint-Géry, la Madeleine, Sainte-Eulalie, Fourfoul de Malpérié, l'Oule) mais leur destinée, à la suite de l'intermittence de leur débit, est d'être comblées par l'argile et les concrétions successives.

Les anciennes sorties sur les versants des vallées de l'avant-dernier des systèmes karstiques peuvent être datées par la faune (le Bretou, les Anglais, le Bosc). Situées entre 20 et 30 m. au-dessus des vallées actuelles, elles montrent une faune froide avec grand Ours des cavernes, Rhinocéros tichorhinus, Renne, associée à des industries humaines du Paléolithique moyen (et parfois Aurignacien, comme au Cuzoulet de Bruniquel). Leur niveau coïncide avec les plus bas paliers de la moyenne terrasse (45 à 60 m.) de l'Aveyron et du Lot inférieurs. Elles sont souvent fossilisées par des coulées de pierrailles qui, par ailleurs, sont interstratifiées dans des gisements magdaléniens (abris de Fontalès et de Bruniquel).

On peut donc déduire la succession de deux systèmes karstiques, sans faire trop intervenir des considérations d'altitude. Celles-ci ne jouent qu'approximativement, statistiquement pourrait-on dire, si le nombre des cavités connues était suffisant. L'étude du système karstique actuel montre d'ailleurs que la même source peut être alimentée par des galeries situées à des niveaux différents.

## LES PLUS ANCIENS SYSTEMES KARSTIQUES.

Les considérations d'altitude permettent cependant d'établir la présence de trois systèmes karstiques superposés. Il est logique de les mettre en concordance respective avec les trois systèmes de terrasses des rivières après le débouché des Causses, et on les repère assez bien sur les versants des vallées de la Dordogne, du Célé, et de l'Aveyron, à 0 - 10 m., 20 - 30 m., 80 - 120 m. au-dessus de l'étiage.

Dans la masse du Causse, les observations d'altitude sont beaucoup plus imprécises. Nous avons déjà dit, d'ailleurs, que l'exploration montrait, après des cheminements assez longs, la coalescence des systèmes karstiques. Cependant, on a d'assez nombreux exemples de galeries superposées par l'exploration des goufs

fres. Il y a bien trois niveaux à Padirac, trois à Planagrèze, trois au Cloup de Rouquet (fig. 3).

Mais l'évolution propre des galeries détruit assez fréquemment cet arrangement.

Par exemple, les effondrements de voutes, générateurs des gouffres, se sont produits à des altitudes variables suivant la lithologie des divers niveaux calcaires. Des éléments d'anciens systèmes karstiques ont pu rejouer localement. Ainsi, les rivières de l'Igue de Toulze, de l'Igue de Saint-Sol, des galeries de Lacave, des galeries de la Grotte du Capucin ou de celle de la Dame-Blanche. Ces différentes reprises d'activités sont parfois inversées, la galerie étant creusée dans un sens, et la reprise d'activité ayant lieu en sens opposé. Ce n'est que pour une étude des dépôts, avec coupes et analyses, que l'on peut reconstituer l'histoire de la caverne.

L'exemple le plus caractéristique semble être la grotte de Pech-Merle à Cabrerets. La galerie primitive a sans doute été ouverte à la phase périglaciaire la plus ancienne, peut être avant Mindel. A l'interglaciaire qui suit, la grotte se colmate en partie d'argile, s'agrandit par éboulements et connaît un premier concrétionnement.

A cette période, dans une caverne voisine remaniant une poche à phosphate se fossilise le célèbre Lion de Cajarc.

Au Riss, nouvelle reprise d'activité, les concrétions primitives sont corrodées par l'eau, s'éboulent, la galerie s'agrandit par une nouvelle phase de corrosion.

A l'interglaciaire Riss-Würm, de nouvelles concrétions se forment, les dépôts argileux cristallisent en faux planchers stalagmitiques, les colonnes cassées se ressoudent selon des "cals" de calcite fraîche.

Au Würm, la grotte est encore ouverte, et sert de repaire aux ours; à la fin de cette période, après un intense concrétionnement, les hommes la fréquentent, y dessinent les figurations pariétales, et elle finit par être scellée par les éboulis superficiels qui fluent dans toute son ouverture d'entrée.

Depuis lors, l'évolution des concrétions est très diverse. Dans les parties hautes, peut être sous la dépendance de phénomènes biochimiques récemment découverts par CAUMARTIN, les concrétions se dégradent, se digèrent, les colonnes disparaissent, et il ne reste plus que les "cals" des soudures précédentes, qui se disposent en disques plus ou moins isolés du reste des concrétions. Ailleurs, le phénomène de digestion des concrétions se traduit par la présence de mond-milch, comme à la grotte voisine de Monclar où le phénomène est plus typique. Dans les parties basses, les eaux saturées de carbonate, venues de la surface ou ayant ruisselé sur les parois supérieures après condensation intense, déposent des concrétions jeunes, classiques dans la plupart des cas, excentriques parfois lorsque les conditions locales le permettent.

Figure 3 : Schemas morphologiques.

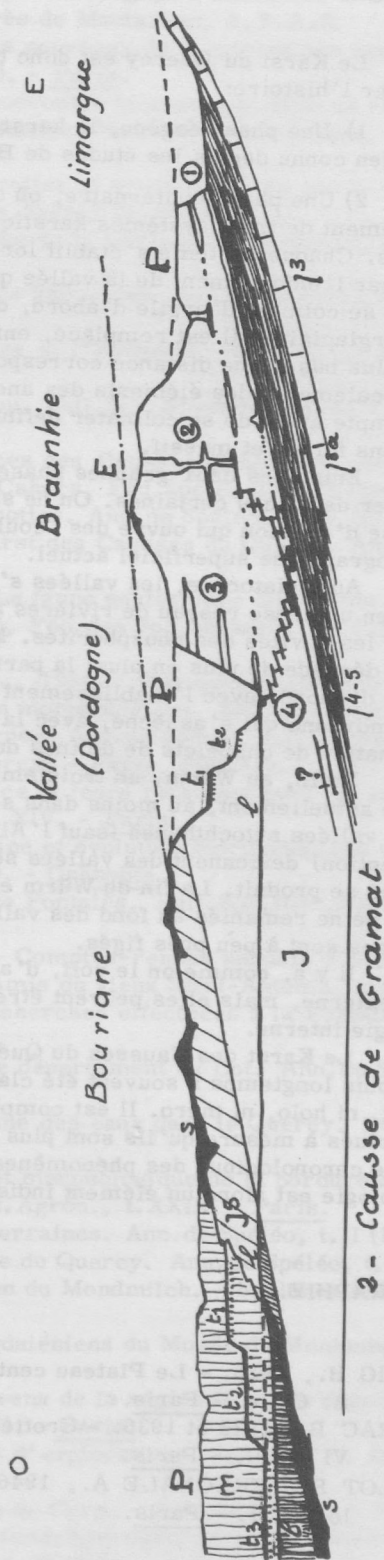
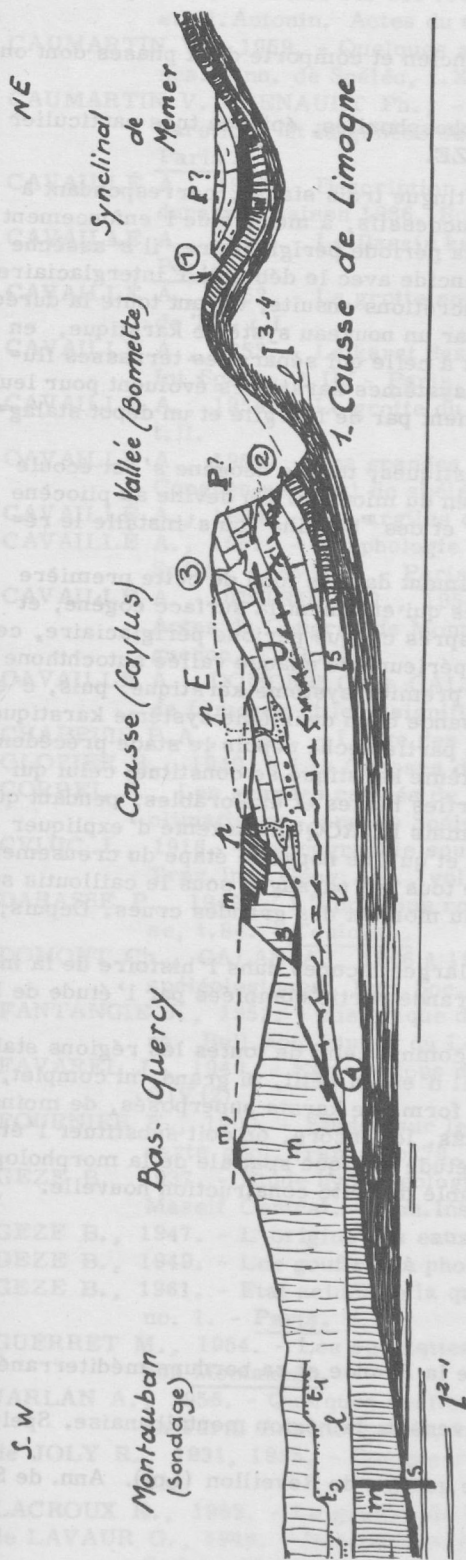
Sur les deux profils:

Géologie: 1<sup>1-2</sup>: infralias. 1<sup>3</sup>: charmouthien, a: calcaire. 1<sup>4</sup>: toarcien. J: jurassique. J<sup>5</sup>: kimmeridgien. s: sidérolithique. m: molasse tertiaire. m': calcaire tertiaire.

Morphologie: 1 - 1: profil en long des rivières. t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub>: terrasses des fleuves et rivières. P: surface d'érosion pliocène. E: surface d'érosion éogène.

Profil 1 - Causse de Limogne. 1: perte de Lombard. 2: source de Livron. 3: Igue de Carteyrou. 4: sources de la Lère. p: poches à phosphate.

Profil 2 - Causse de Gramat. 1: perte de Réveillon. 2: Gouffre de Planagrèze. =: Grottes étagées sur la vallée de la Dordogne. 4: source du Limon.





## CONCLUSION.

Le Karst du Quercy est donc très ancien et comporte deux phases dont on peut dégager l'histoire:

1) Une phase éogène, le karst des phosphorites, épisode très particulier et assez bien connu depuis les études de B. GÈZE.

2) Une phase quaternaire, où on distingue trois stades, correspondant à l'établissement de trois systèmes karstiques successifs, à mesure de l'enfoncement des vallées. Chaque système s'établit lors de la période périglaciaire, il s'assèche en partie par l'enfoncement de la vallée qui coïncide avec le début de l'interglaciaire suivant. Il se colmate d'argile d'abord, de concrétions ensuite, durant toute la durée de cet interglaciaire. Il est remplacé, enfin, par un nouveau système karstique, en moyenne plus bas d'une distance correspondant à celle qui sépare les terrasses fluviales. Localement, des éléments des anciens systèmes karstiques évoluent pour leur propre compte avant de se colmater définitivement par de l'argile et un dépôt stalagmitique sans forme et massif.

Entre ces deux grandes phases karstiques, tout le néogène s'est écoulé sans laisser de traces certaines. On ne sait rien du miocène. On devine au pliocène une reprise d'érosion qui ouvre des "couloirs" et des "bassins" où s'installe le réseau hydrographique superficiel actuel.

Au pléistocène, les vallées s'impriment dans le fond de cette première ébauche, en un dense réseau de rivières actives qui entament la surface éogène, et décapitent les cavités des phosphorites. Mais après chaque période périglaciaire, ce réseau se dégrade de plus en plus: la partie supérieure de chaque vallée autochtone s'assèche d'abord, avec l'établissement d'un premier système karstique, puis, c'est la partie moyenne qui s'assèche, avec la naissance d'un deuxième système karstique et la formation de chapelets de dolines dans la partie sèche depuis le stade précédent.

Enfin, au Würm, un troisième système karstique se constitue: celui qui fonctionne actuellement, au moins dans ses parties hautes et explorables, pendant que toutes les vallées autochtones (sauf l'Alzou, mais H. ROQUES a tenté d'expliquer cette exception) deviennent des vallées sèches et qu'une nouvelle étape du creusement des dolines se produit. La fin du Würm ennoye tous les paysages sous le cailloutis soliflués, à peine remaniés au fond des vallées au moment des grandes crues. Depuis, les paysages sont à peu près figés.

Il y a, comme on le voit, d'assez larges lacunes dans l'histoire de la morphologie externe, mais elles peuvent être en grande partie comblées par l'étude de la morphologie interne.

Le Karst des Causses du Quercy, comme celui de toutes les régions stabilisées depuis longtemps a souvent été classé; il n'est ni petit, ni grand, ni complet, ni incomplet, ni holo, ni méro. Il est complexe, formé de karsts superposés, de moins en moins évolués à mesure qu'ils sont plus récents. Ici encore, on doit substituer l'étude dynamique chronologique des phénomènes à l'étude statique spatiale de la morphologie. La spéléologie est alors un élément indispensable de cette construction nouvelle.

## BIBLIOGRAPHIE.

- 1) BAULIG H., 1925. - Le Plateau central de la France et sa bordure méditerranéenne. A. Colin. - Paris.
- 2) BETIRAC B., 1935 et 1936. - Grottes et avens de la région montalbanaise. Spelunca, VI et VII. - Paris.
- 3) BRILLOT R., FREGNALE A., 1946. - Le gouffre de Réveillon (Lot). Ann. de Spéléo, t. 1. - Paris.



- 4) BRUN V., 1903. - Notice sur les fouilles paléontologiques exécutées à Bruniquel et St. Antonin. Actes du Congrès de Montauban, A.F.A.S.
- 5) CAUMARTIN V., 1959. - Quelques aspects nouveaux de la microflore des cavernes. Ann. de Spéléo, t. XIV (2). - Paris.
- 6) CAUMARTIN V., RENAULT Ph., - La corrosion biochimique dans un réseau karstique et la genèse du Mondmilch. Notes biospéologiques, t. XIII, Paris.
- 7) CAVAILLÉ A., 1936. - Description des grottes et avens explorés par la SSAT durant la saison 1936. Bull. Soc. Spéléo-St. Antonin, t. I.
- 8) CAVAILLE A., 1950. - Le Bassin karstique de la Lère. Ann. de Spéléo, t. V (2-3). Paris.
- 9) CAVAILLÉ A., 1952. - La grotte source de Thourieys. Bull. Soc. Sciences Nat. de TG. t. I.
- 10) CAVAILLÉ A., 1953. - Le karst des gorges de l'Aveyron. Actes du Ier Congrès Int. Spéléo, t. II. - Paris.
- 11) CAVAILLÉ A., 1954. - Le grotte du Bretou. Bull. Soc. Sciences Nat. de T. et G., t. II.
- 12) CAVAILLÉ A., 1958. - Les grandes sources des Causses du Quercy. Actes du Congrès régional de spéléo de Cahors, Féd. Spéléo du S.O. - Bordeaux.
- 13) CAVAILLÉ A., 1960. - Les argiles des grottes. Ann. de Spéléo, t. XV (2). - Paris.
- 14) CAVAILLÉ A., 1961. - Morphologie et Karst des Causses du Quercy. Ann. de Spéléo, t. XVI (1). - Paris.
- 15) CAVAILLÉ A., DESTRUÉL R., 1954. - La faune quaternaire du plateau du Bosc. Actes du Congrès de Montauban, Féd. des Soc. Savantes Pyrénées, Landes, Toulouge.
- 16) CAVAILLÉ A., DOMONT Ch., GALAN A., 1954. - Quelques grottes du Causse de Limogne et leur signification morphologique. Ann. de Spéléo, t. IX (3).
- 17) CHAPPUIS P.A., 1947. - L'âge des cavernes. Ann. de Spéléo, t. II (1). Paris.
- 18) CLOZIER R., 1940. - Les Causses du Quercy. - Paris, Baillière.
- 19) CORBEL J., Les grandes cavités de France et leurs relations avec les facteurs climatiques. Ann. de Spéléo, t. XIV. - Paris.
- 20) CVIJIC J., 1918. - Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. Trav. Inst. Géog. Alp., vol. V (4). - Grenoble.
- 21) DARASSE P., 1949. - L'abri sous roche de Fontalès. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, t. 84. - Toulouse.
- 22) DOMONT Ch., GALAN A., 1946 à 1960. - Comptes-rendus annuels d'explorations spéléologiques. Bull. Soc. des Amis du vieux Saint-Antonin, tomes 1 à 15.
- 23) FANTANGIE J., 1952. - Historique des recherches effectuées à la Fontaine Divoine. Bull. Soc. Etudes du Lot (2).
- 24) FAVAREL J., 1949. - Explorations dans le département du Lot. Ann. de Spéléo, t. IV (2).
- 25) FOURNIER F., 1900. - Etudes sur le régime des eaux dans le Quercy. Bull. serv. carte géol. France no. 78.
- 26) GEZE B., 1937. - Etude hydrogéologique et morphologique de la bordure S.O. du Massif Central. - Ann. Inst. Nat. Agron., t. XXIX. - Paris.
- 27) GEZE B., 1947. - L'origine des eaux souterraines. Ann. de Spéléo, t. II (1). - Paris.
- 28) GEZE B., 1949. - Les gouffres à phosphate du Quercy. Ann. de Spéléo, t. IV (2).
- 29) GEZE B., 1961. - Etat actuel de la question du Mondmilch. - Spelunca Mémoires no. 1. - Paris.
- 30) GUERRET M., 1954. - Les squelettes magdaléniens du Musée de Montauban. Bulletin de Montauban.
- 31) JARLAN A., 1956. - Quelques grottes et avens de la région N.O. du département du Tarn. Ann. de Spéléo, t. XI (1). - Paris.
- 32) de JOLY R., 1931, 1935. - Compte-rendus d'explorations. Spelunca II, Spelunca VI.
- 33) LACROUX R., 1952. - Le gouffre de Roque de Corn. - Ann. de Spéléo, t. VII (2).
- 34) de LAUR G., 1949. - Introduction à une étude hydrogéologique du Causse de Gréalou. Saint-Chels (Lot). - Ann. de Spéléo, t. IV (2). - Paris.

- 35) de LAVAUR G., 1950 et 1952. - Le gouffre et la rivière souterraine de Padirac. Ann. de Spéléo, t. V (2 et 3) et t. VII (2). - Paris.
- 36) de LAVAUR G., 1953. - Hydrologie souterraine du Causse de Gramat. - Actes du Ier Congrès International de Spéléo, t. II. - Paris.
- 37) Abbé LEMOZI, 1928. - La Grotte-temple de Pech-Merle, Cabrerets. - Cahors.
- 38) LETRONE M., 1957. - Plongées souterraines. - Bull. Com. Nat. Spéléo (3). - Paris.
- 39) LLOPIS-LLADO N., 1953. - Karst fossile et mérofossile. - Actes du Ier Congrès International de Spéléo, t. II. - Paris.
- 40) MARTEL E.A., 1894. - Les Abimes. - Delagrave, Paris.
- 41) MARTEL E.A., 1930. - La France ignorée, t. II. - Paris.
- 42) MARTEL E.A., 1933. - Le gouffre et la rivière souterraine de Padirac. - Delagrave, Paris.
- 43) Dr PERRIER L., 1919. - Igues et Avens de Tarn-et-Garonne. - Rec. Ac. de T & G, t. XXXIV.
- 44) Dr PERRIER L., 1921. - Grottes et Ruisseaux souterrains de Tarn-et-Garonne. Rec. Ac. de Tarn & Garonne, t. XXXV.
- 45) Dr PERRIER L., 1925. - Quelques nouvelles explorations en Tarn-et-Garonne. - Rec. Ac. de T & G, t. XXXVII.
- 46) PIERRET B., 1950. - Recherches Spéleologiques en Haute-Aquitaine. - Ann. de Spéléo, t. V (1). - Paris.
- 47) RENAULT Ph., 1953. - Dépôts vermiculés d'argile de décalcification. - Actes du Ier Congrès International de Spéléo, t. II. - Paris.
- 48) ROQUES H., 1956. - A propos de l'hydrogéologie de la bordure N. E. du Causse de Gramat. - Ann. de Spéléo, t. XI (3). - Paris.
- 49) ROQUES H., 1959. - Sur la répartition de l'acide carbonique dans les karsts. - Ann. de Spéléo, t. XIV. - Paris.
- 50) ROQUES H. et LESUR J., 1954. - La rivière souterraine du Saut de la Pucelle. Ann. de Spéléo, t. IX (4). - Paris.
- 51) ROQUES H. et PIERRET B., 1955. - Nouvelles explorations au Saut de la Pucelle. - Ann. de Spéléo, t. X (3). - Paris.
- 52) SERONIE-VIVIEN R., 1955. - Sédiments et sédimentation souterraine. - Actes du 2ème Congrès régional de Spéléo. - Bordeaux.
- 53) SERONIE-VIVIEN R., 1953. - Etude des phénomènes karstiques dans l'Entre-Deux Mars, Gironde. - Actes du Ier Congrès International de Spéléo, t. II. - Paris.
- 54) SERONIE-VIVIEN R., 1956. - Etude géospéleologique de la partie occidentale de la Forêt de la Brauhie. - IIIème Congrès Régional de Spéléo, Fédération Spéléo du S. O. - Bordeaux.
- 55) SERONIE-VIVIEN R., 1958. - Etude géospéleologique de la région du gouffre de l'Aussure, Caniac (Lot). - IVème Congrès régional de Spéléo, Cahors. Fédération Spéléo du S. O. - Bordeaux.
- 56) SERMET J., 1929. - Les phénomènes karstiques du Causse de Limogne. - Bull. de la Soc. d'Hist. Nat. de Toulouse, t. 58 (2). - Toulouse.
- 57) TROMBE F., 1952. - Traité de Spéleologie. - Payot, Paris.
- 58) VERDEIL P., 1961. - Principes généraux de la Karstification. - Spélunca - mémoires, n° 1. - Paris.
- 59) VIRE A., 1910. - Guide bleu (Lot). - Masson, Paris.

## Diskussion.

**BONNET:** Le creusement quaternaire des vallées ne doit pas être élevé au rang de dogme comme l'impliquait la théorie eustaticienne absolue de DEPERET. Ce creusement quaternaire mis en évidence dans les vallées qui entaillent le Causse du Quercy n'est pas applicable à la basse vallée du Rhône où la surface de 180 m qui tronque le Crétacé des garrigues nîmoises est d'âge Pontien (Pliocène marin fossilisant des ravins emboîtés dans cette surface - BONNET, Inqua Rome-Pise 1953). Par contre dans les Gorges du Gardon comme dans le Quercy le creusement pas beaucoup progressé depuis le Würm. Deux régions présentant des évolutions différentes montrent qu'une étude de datation du creusement doit être replacé dans son cadre paléogéographique.

**CORBEL:** Il existe une relation entre la structure horizontale et l'établissement de niveaux en grotte reconnaissables. En structures plissées, chaotiques, de tel niveaux sont généralement introuvable.

Le début du creusement principal du Verdon semble se situer au Villafran= chien, première grande époque froide dans le Sud-Est de la France.

**CAVILLE:** Pour répondre à M. CORBEL, je dois indiquer que les terrasses qui peuvent être mises en concordance avec les niveaux de grottes sont situées dans une structure toute différente, c'est à dire dans la molasse de l'Aqui= taine. La concordance des niveaux est due à la morphologie, et non pas provoquée par des concordances lithologiques.

# INDEX DES CAVITÉS CITÉES

Les numéros cités dans la colonne "Bibliographie" indiquent les travaux les plus récents, tenant compte de la bibliographie antérieure.

A = Abri sous roche

I = Igue (aven)

R.S. = Rivière souterraine

G = Grotte

P = Perte

S = Source

Nom	Forme	Causse de	Commune	Bibliographie
Les Anglais	G	Limogne	Cazals	44 - 31
Aussure	I	Gramat	Canhiac	32 - 55
Le Bosc	R.S.		St. Antonin	44 - 7
Le Bosc(Blaireau)	G		St. Antonin	15
Le Bretou	G	Limogne	Montricoux	11
Bruniquel	A		Bruniquel	4
Cabrerets	G	Gramat	Cabrerets	37 - 41
Capucin	G	Limogne	St. Antonin	16
Cartayrou	I	Limogne	St. Projet	22
Chartreux	S	Limogne	Cahors	24
Le Cros	P	Limogne	Saillac	22
Cloup de Rouquet	I	Limogne	Promilhasses	26
Cuzoulet	G - A		Bruniquel	26
Dame Blanche	G	Limogne	St. Antonin	16
Fontalès	A	Anglars	St. Antonin	21
Gourp	S		Fénéryols	38
Lacave	G	Gramat	Lacave	59
Lantouy	S	Limogne	St. Jean de Laurs	26
Laramière	P	Limogne	Laramière	26
Ligue de Pers	P	Limogne	St. Projet	16 - 14
Livron	S	Limogne	Caylus	26
Lombard	P	Limogne	Puylagarde	Inédit
Lombard	S	Gramat	Montvalent	35 - 48
Loygue	P	Limogne	Puylagarde	22
La Madeleine	G - S	Limogne	Penne du Tarn	2 - 10
Malpérié	S	Limogne	Caylus	22 - 56
L'Oule	S	Limogne	St. Jean de Laurs	22 - 41
Padirac	I	Gramat	Padirac	42 - 35
Parro	I	Limogne	Crégols	26 - 28
Pendent	T - G	Gramat	Lauzès	24
Planagrèze	I	Gramat	Canhiac	54
Saut de la Pucelle	P	Gramat	Gramat	50 - 51
Réveillon	P	Gramat	Alvignac	33
Roque de Corn	P	Gramat	Montvalent	3
Ste. Eulalie	G - S	Gramat	Espagnac	59
St. Georges	S	Gramat	Montvalent	35
Saint-Géry	G - S	Limogne	Loze	13 - 14
St. Sauveur	S	Gramat	Calès	48 - 50
St. Sol	I - G	Gramat	Lacave	59
Thémines	P	Gramat	Thémines	32 - 59
Thourieys	S	Limogne	Cazals	9
Toulze	I - G	St. Chels	Montbrun	34
Touzac	S		Touzac	36
La Verrière	S	Limogne	Vaylats	2 - 8
Vipères	G - S	Anglars	St. Antonin	Inédit

Paul DUBOIS

## LES CIRCULATIONS SOUTERRAINES DANS LES KARSTS BARRÉS DU BAS LANGUEDOC

Les récentes études de Claude MEGNIEN (1, 2) ont prouvé l'existence, dans certaines conditions, d'une nappe d'eau dans les calcaires. Ces observations étant effectuées dans les karsts peu développés du département de l'Yonne, il était intéressant de se demander, à la suite de B. GEZE (3), si des cas semblables existaient dans les grands karsts. Nous avons, à ce point de vue, choisi l'exemple du Bas-Languedoc, une grande région karstique française.

L'hydrologie souterraine du Bas-Languedoc est caractérisé par l'existence d'une série de karsts barrés par de grandes failles NE-SW, au long desquelles s'établissent les émergences principales de la région (4), qui sont de type vaclusien. L'étude de ces émergences montre qu'elles sont, en fait, la ressortie du trop plein de véritables nappes aquifères installées dans les fissures du calcaire. Deux exemples vont être examinés à ce point de vue, avant de dégager, en conclusion, les caractères de ce type de circulation karstique en nappe.

### I - LIROU SOUTERRAIN (Carte figure 1)






Le Lirou souterrain se situe dans le Causse de Viols-le-Fort, grand ensemble de terrains calcaires jurassiques, situé à une vingtaine de kilomètres au Nord de Montpellier. Du point de vue morphologique, le Causse de Viols-le-Fort est différent d'un Causse classique, puisqu'il s'agit d'un ensemble de terrains plissés, rabotés par une surface d'érosion (Miocène ?) déterminant l'aspect de plateau calcaire.

Pour notre étude, la zone orientale du Causse est la plus intéressante; c'est un karst barré par une grande faille NE-SW, drainé par un cours souterrain, dont le point de ressortie se situe en crue à l'émergence temporaire du Lirou.

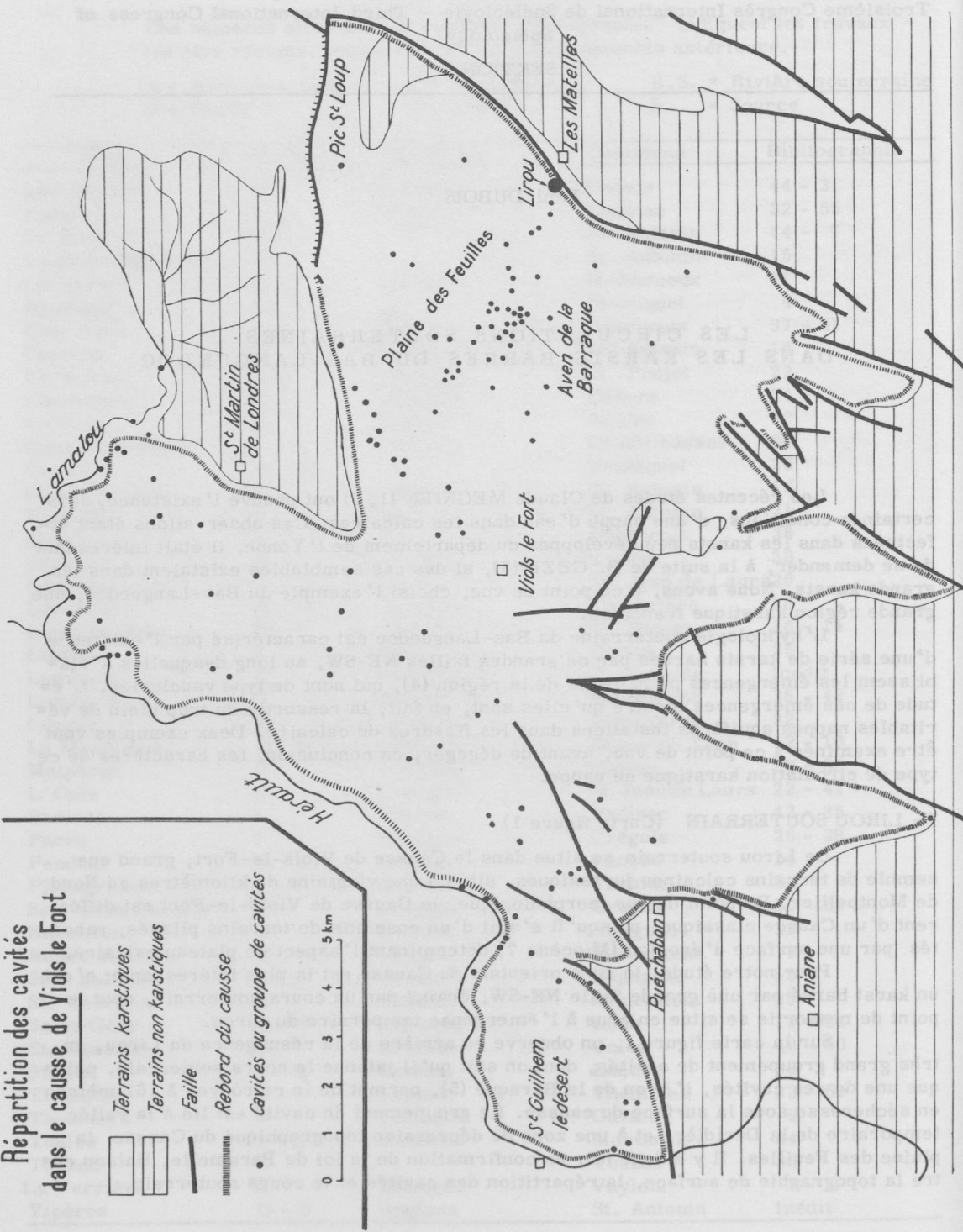
Sur la carte figure 1, on observe en arrière de la résurgence du Lirou, un très grand groupement de cavités, dont on sait qu'il jalonne le cours souterrain, puisque une de ces cavités, l'Aven de la Baraque (5), permet de le retrouver à 161 mètres en sécheresse sous la surface du causse. Le groupement de cavité est lié à la vallée temporaire de la Deridière et à une zone de dépression topographique du Causse, la plaine des Feuilles. Il y a donc ici, en confirmation de la loi de Paramelle, liaison entre la topographie de surface, la répartition des cavités et le cours souterrain.



# Répartition des cavités dans le causse de Viols le Fort

-  Terrains karstiques
-  Terrains non karstiques
-  Faille
-  Rebord du causse
-  Cavités ou groupe de cavités

0 1 2 3 4 5 km



L'étude du réseau souterrain, effectuée à la résurgence du Lirou et à l'Aven de la Baraque, montre que l'écoulement de l'eau, bien que s'effectuant en partie au dépend de galeries pénétrables à l'homme, se comporte comme l'écoulement d'une véritable nappe aquifère en terrain perméable. En quelque sorte, la nappe d'eau ennoie le système de galeries et le système de fissures connexes et circule à l'intérieur de tout ce réseau de vides:

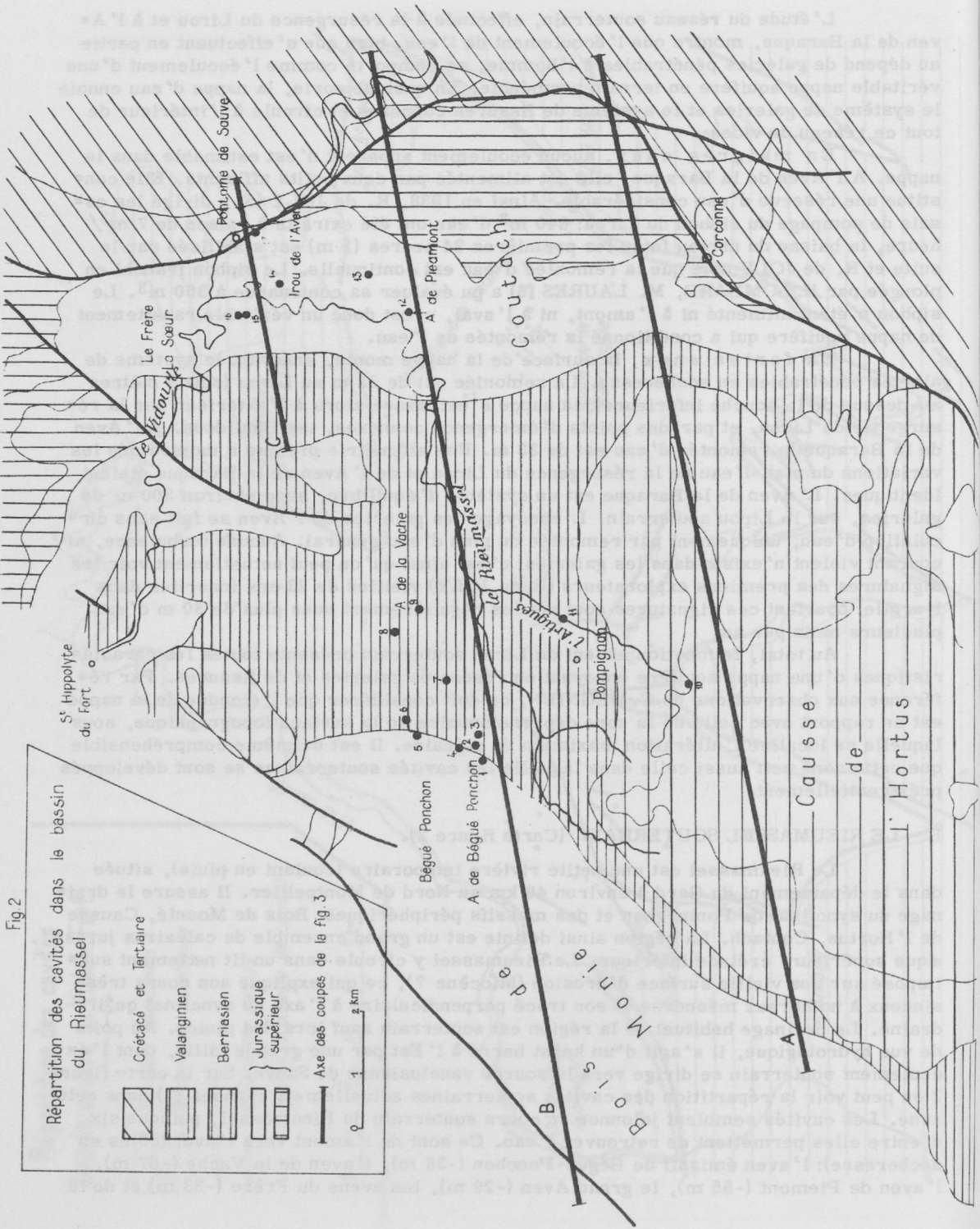
En maigres eaux, aucun écoulement apparent n'est estimable dans la nappe. A l'Aven de la Baraque, elle est alimentée par deux petits affluents. Elle constitue une réserve d'eau considérable. Ainsi en 1938, R. de JOLY (5) a dirigé les essais de pompage du siphon du Lirou: 840 m<sup>3</sup> d'eau ont été extraits à raison de 7 m<sup>3</sup>/heure, la baisse du niveau forte les premières 24 heures (1 m) est stabilisée par la suite et R. de JOLY note que la remontée d'eau est continue. Le siphon franchi en plongée par H. LOMBARD, M. LAURES (6) a pu évaluer sa contenance à 360 m<sup>3</sup>. Le siphon n'étant alimenté ni à l'amont, ni à l'aval, c'est donc un véritable rabattement de nappe aquifère qui a conditionné la remontée de l'eau.

En fortes eaux, la surface de la nappe monte, ennoyant le système de galeries pénétrables en sécheresse. La remontée est de 32 m au Lirou (soit 5 mètres au-dessus de la bouche inférieure); la nappe s'extravase alors à l'extérieur par la résurgence du Lirou, et par des points d'émergence connexes, les Boulidoues. A l'Aven de la Baraque la remontée d'eau est de 33 m. Une altimétrie précise a montré que les variations du plan d'eau de la résurgence du Lirou et de l'Aven de la Baraque étaient identiques. L'Aven de la Baraque est un système d'équilibre, avec environ 300 m de galeries, sur le Lirou souterrain. L'ennoyage des galeries de l'Aven se fait sans circulation d'eau, uniquement par remontée du plan d'eau général. Aucune turbulence, ni courant violent n'existe dans les galeries: c'est ainsi qu'on peut actuellement voir les signatures des premiers explorateurs (R. de JOLY) vieilles de 23 ans inscrites dans l'argile; pourtant ces signatures sont noyées régulièrement sous plus de 30 m d'eau plusieurs mois par an.

Au total, le fonctionnement du Lirou souterrain présente toutes les caractéristiques d'une nappe aquifère ennoyant un réseau de galeries et de fissures. Par référence aux observations de C. MEGNIEN, on doit considérer que l'étendue de la nappe est en rapport avec celle de la zone dépressionnaire de la surface topographique, sous laquelle se localise l'altération maximum du calcaire. Il est de même compréhensible que cette zone soit aussi celle dans laquelle les cavités souterraines se sont développées préférentiellement.

## II - LE RIEUMASSEL SOUTERRAIN (Carte figure 2).

Le Rieumassel est une petite rivière temporaire (coulant en pluie), située dans le département du Gard à environ 40 km au Nord de Montpellier. Il assure le drainage du synclinal de Pompignan et des massifs périphériques: Bois de Mounié, Causse de l'Hortus, Coutach. La région ainsi définie est un grand ensemble de calcaires jurassiques supérieurs, crétacés inférieurs. Le Rieumassel y circule dans un lit nettement surimposé sur une vieille surface d'érosion (Miocène ?), ce qui explique son cours très sinueux à nombreux méandres et son tracé perpendiculaire à l'axe du synclinal qu'il draine. Le drainage habituel de la région est souterrain sauf lors des pluies. Au point de vue hydrologique, il s'agit d'un karst barré à l'Est par une grande faille, dont l'écoulement souterrain se dirige vers la source vaclusienne de Sauve. Sur la carte figure 2 on peut voir la répartition des cavités souterraines actuellement connues (7) dans cette zone. Les cavités semblent jalonner un cours souterrain du Rieumassel, puisque six d'entre elles permettent de retrouver l'eau. Ce sont de l'amont vers l'aval (côtes en sécheresse): l'aven émissif de Bégué-Ponchon (-38 m), l'aven de la Vache (-67 m), l'aven de Piemont (-55 m), le grand Aven (-29 m), les avens du Frère (-33 m) et de la



Soeur (-37 m). Ces deux dernières cavités sont situées dans la zone où l'écoulement souterrain conflue avec le cours souterrain du Vidourle. Grâce à ces cavités regards on peut donner le tracé approximatif du Rieumassel souterrain, comme effectué dans la figure 3.

Dans les cavités on constate que:

- aucun courant n'est visible à la surface de l'eau en sécheresse, alors que la fontaine de Sauve a un débit pérenne,
- en crue les cavités se remplissent par remontée générale du plan d'eau, sans courant violent, au niveau des galeries.

Ces caractères sont nettement ceux d'une nappe aquifère et non pas d'une rivière souterraine circulant uniquement dans un réseau de galeries.

Les mesures altimétriques effectuées dans les cavités montrent que la nappe a une pente d'environ 2 ‰ en sécheresse. Elle se situe à 30 - 35 m sous les côtes correspondantes du profil d'équilibre du Rieumassel. Lors des pluies le niveau de la nappe monte et tend à venir se raccorder en surface au Rieumassel aérien. Ce fait est nettement prouvé par des cavités telles que l'Aven de Piemont (-55 m) situé à 150 m du Rieumassel aérien. En sécheresse on descend 30 m plus bas que le Rieumassel aérien. En crue l'eau remonte dans l'aven jusqu'à une cote qui correspond à celle du Rieumassel aérien devenu alors actif. Dans ce cas limite la nappe aquifère souterraine joue en quelque sorte le rôle d'une nappe phréatique dépendant du Rieumassel aérien. Dans les cavités étudiées la remontée maximum de plan d'eau est de:

40 m à l'aven de Bégué Ponchon. Il est alors émissif.

35 m à l'aven de la Vache

30 m à l'aven de Piemont

20 m aux avens de Sauve.

On constate que l'élévation du plan d'eau diminue de l'amont vers l'aval; ce résultat est normal puisque vers l'aval la nappe souterraine va se raccorder au niveau de base local (Rieumassel aérien, puis Vidourle aérien) et que la remontée du plan d'eau s'arrête dès que la nappe a atteint ce niveau de base.

En conclusion, le bassin du Rieumassel est drainé souterrainement par une nappe aquifère circulant dans un système de galeries et de fissures. On ne possède aucune idée sur l'extension exacte de cette nappe, mais il est très probable qu'elle est liée à la vallée sèche du Rieumassel.

### III - CONCLUSIONS SUR L'EXISTENCE D'UNE NAPPE D'EAU DANS LES KARSTS BARRÉS.

Les deux exemples étudiés ont mis en évidence l'existence d'une nappe d'eau dans les calcaires très karstiques du jurassique supérieur, lorsqu'ils se trouvent en position de karsts barrés. D'après les observations de terrains, il semble que ce résultat soit général pour les nombreux karsts barrés du Bas-Languedoc.

Deux constatations paraissent générales: la nappe est en relation avec le tracé topographique de surface et elle envoie un réseau de galeries et de fissures.

#### 1° - Relation de la nappe avec la topographie de surface et la répartition des cavités.

Dans les deux cas étudiés, la nappe paraît être en relation avec les creux topographiques ou vallées sèches de surface. Dans ces creux se concentrent également les cavités souterraines. Il semble y avoir rapport étroit entre tous ces phénomènes, comme déjà mentionné dans le cas du Lirou. Les observations de C. MEGNIEN (1, 2) et celles rapportées par B. GEZE (3) montrent que cette relation est générale dans les calcaires en confirmation de la loi de Paramelle. Ceci peut être d'un grand intérêt pour les recherches hydrologiques dans les karsts barrés: lorsque dans un karst barré, à



écoulement souterrain, il y a en surface concentration de phénomènes tels que vallées sèches, creux topographiques, avens etc.--. il y a présomption pour qu'en profondeur, sous la zone de concentration, existe une nappe d'eau souterraine étendue dans un réseau de fissures et de galeries. La relative étendue de cette nappe d'eau permet alors de la rechercher, sans aléas, par forage.

## 2°- Disposition de la nappe dans un réseau de galeries et de fissures.

Dans les cas étudiés ici et dans les autres cas de karsts barrés du Bas-lan-guedoc, l'observation morphologique des galeries des cavités souterraines montre que leur creusement n'est pas dû à l'érosion phréatique qu'elles subissent actuellement, mais à un stade d'érosion antérieur, en partie en conduite forcée.

Durant ce stade d'érosion antérieur supposant un niveau de base inférieur de 30 à 50 m à l'actuel, le karst a subi une évolution profonde avec creusement d'un important réseau de galeries et aggrandissement maximum des fissures. La remontée du niveau de base, due à la fois au jeu de la faille génératrice du karst barré et à une variation du niveau marin a stoppé l'écoulement vers les anciennes émergences. Le karst ancien a été noyé, et l'on comprend fort bien que, vu son altération, il s'y soit installée une nappe souterraine remplissant d'anciennes fissures et galeries.

Une telle conception de l'écoulement d'un karst barré est très importante au point de vue de l'utilisation de l'eau émergeant de ce karst. L'émergence d'un ancien karst, noyé et barré par faille est nécessairement une fontaine de type vaclusien, l'eau atteignant son maximum de vitesse dans les galeries débouchera à la surface par une ancienne galerie constituant ainsi le siphon classique en U ou V. On a admis depuis MARTEL que la section de la galerie siphonante remmenait à la surface la totalité du volume d'eau débité. Aussi MARTEL considérait les fontaines vaclusiennes comme particulièrement fragiles, l'éboulement ou le désamorçage du siphon pouvant tarir la fontaine. Bien au contraire si l'on admet que l'eau d'une fontaine vaclusienne d'un karst barré n'est en quelque sorte que le déversement du trop plein d'une nappe aquifère, il sera possible d'utiliser cette nappe comme une nappe phréatique normale dont le débit est susceptible d'être accru par pompage.

Il est bien évident que la quantité d'eau récupérable sera très variable et que des essais de pompage identiques à ceux effectués sur nappe classique, peuvent seuls fixer les débits optimaux.

Cette possibilité n'est actuellement qu'une hypothèse, puisque, en application des idées de MARTEL, on n'a jamais effectué des essais de pompage sérieux sur une source vaclusienne. Il semble que ces essais peuvent être entrepris sans danger pour la source; le risque maximum couru étant que la perméabilité du réseau de fissures dans lequel est établie la nappe ne permette pas un réajustement hydrostatique immédiat, ce qui conduirait à une baisse rapide du niveau de la source. Dans ce cas l'arrêt du pompage redonnera à la source son niveau normal.

En conclusion il semble que la nappe aquifère d'un karst barré noyé présente un intérêt certain pour les recherches d'eau dans les zones calcaires. Lorsqu'il y a un karst barré et dans les conditions étudiées il y a théoriquement possibilité d'obtenir une grande quantité d'eau:

- par forage dans les creux topographiques à concentration maximum de phénomènes karstiques,
- par pompage direct à l'émergence vaclusienne.

Ces données sont actuellement hypothétiques. Vu l'importance toujours croissante prise par les recherches hydrologiques il est probable que l'on va passer très rapidement au stade expérimental qui seules permettront le contrôle.



## BIBLIOGRAPHIE.

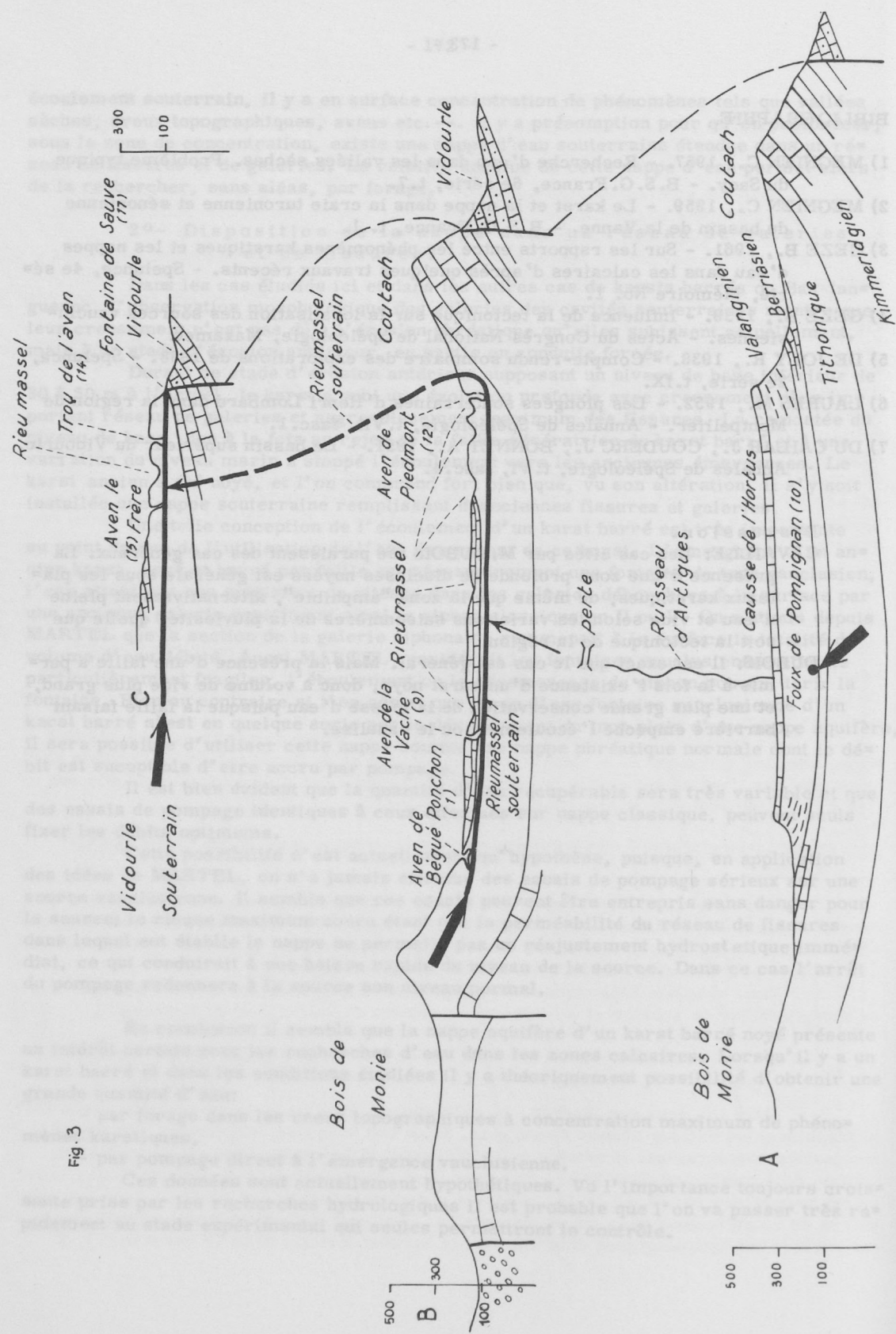
- 1) MEGNIEN C., 1957. - Recherche d'eau dans les vallées sèches. Problème typique du Sacy. - B.S.G.France, 6e série, t.7.
- 2) MEGNIEN C., 1959. - Le karst et la nappe dans la craie turonienne et sénonienne du bassin de la Vanne. - B.S.G.France, t. 1.
- 3) GEZE B., 1961. - Sur les rapports entre les phénomènes karstiques et les nappes d'eau dans les calcaires d'après quelques travaux récents. - Spelunca, 4e série, Mémoire No. 1.
- 4) GEZE B., 1939. - Influence de la tectonique sur la localisation des sources vauclusiennes. - Actes du Congrès National de Spéléologie, Mazamet.
- 5) DE JOLY R., 1938. - Compte-rendu sommaire des explorations de 1938. - Spelunca, 2e série, t.IX.
- 6) LAURES M., 1952. - Les plongées souterraines d'Henri Lombard dans la région de Montpellier. - Annales de Spéléologie, t.VII, fasc.1.
- 7) DU CAILAR J., COUDERC J., BONNET A., 1951. - Le bassin supérieur du Vidourle. Annales de Spéléologie, t.VI, fasc.4.

## Diskussion.

CAVAILLE: Les cas cités par M.DUBOIS me paraissent des cas généraux. La présence d'une zone profonde de diaclases noyées est générale sous les plateaux karstiques, de même que la zone "amphibie", alternativement pleine d'eau et vide selon les variations saisonnières de la pluviosité, quelle que soit la tectonique de la région.

DUBOIS: Il est exact que le cas est général. Mais la présence d'une faille a permis à la fois l'existence d'un karst noyé, donc à volume de vide plus grand, et une plus grande conservation de la masse d'eau puisque la faille faisant barrière empêché l'écoulement ou le canalise.

Fig. 3



Paul DUBOIS

MODE ET AGE DE FORMATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES  
DU MASSIF DU MONT PERDU  
(PYRÉNÉES CENTRALES)

Le massif du Mont Perdu est le plus haut massif calcaire (3252 m.) des Pyrénées et d'Europe. C'est un des plus grands Karst des Pyrénées dont la reconnaissance spéléologique est en cours <sup>1)</sup>. Il a déjà fait l'objet de diverses publications (1 à 7), auxquelles nous renvoyons pour tous les détails concernant les cavités dont il va être question plus loin et pour l'étude générale du Massif. Seule sera envisagée ici la genèse des différentes cavités souterraines. Bien que celles-ci ne soient pas toutes explorées, le nombre de celles connues (150 environ) permet de dégager quelques faits généraux les concernant.

On doit distinguer dans l'évolution Karstique du Massif du Mont Perdu deux périodes distinctes: une période ancienne antéglaciaire, et une période récente liée aux différents phénomènes dépendant des glaciations quaternaires qui ont pris ici une extension considérable par suite de la grande altitude.

1<sup>0</sup>- PERIODE ANCIENNE.

La période ancienne d'évolution correspond à un grand espace de temps s'étendant à l'Eocène Supérieur (émersion de la région), à l'Oligocène et au Mio-Pliocène. Durant cette très longue période, le massif a subi une érosion et une ablation considérable. Plusieurs cycles Karstiques ont dû se développer successivement à la suite du jeu tectonique continu des Pyrénées, mais nous n'en connaissons actuellement que de maigres vestiges.

Le dernier de ces cycles semble avoir admis comme niveau de base local une plateforme d'érosion (cycle antérieur ?) s'établissant vers les côtes actuelles 2400 - 2600. On retrouve des lambeaux de cette plateforme tant sur le versant français que sur le versant espagnol: glacier de la Cascade, plat des Millaris, rebords de la vallée d'Ordesas (voir fig. 3). Quelques cavités se rattachent, plus ou moins directement à cette plateforme: la grotte Devaux, la grotte Casteret, grotte No. 1 des Izards.

Toutes ces cavités ont de nombreuses ressemblances: elles sont en partie tronquées par la surface topographique actuelle; les sections de galeries sont en général vastes, bien calibrées, avec vagues d'érosion sur les parois; les remplissages ar-

1) Travaux du Spéléo Club Alpin Languedocien du C. A. F. Montpellier.

gileux sont peu développés; les concrétions de calcite sont rares mais toujours présentes. Au total il s'agit de cavités d'érosion, dont l'évolution a été stoppée à un stade juvénile sans phase de remplissage ou de concrétionnement. L'âge ancien est confirmé par la présence de quelques concrétions de calcite dont la température de formation est nettement supérieure aux températures ayant régnées sur le massif depuis l'intervention des glaciations quaternaires.

Ces anciens réseaux sont soit réutilisés en partie par les écoulements actuels (grotte Devaux, grotte des Izards) soit fossilisés par le gel (Grotte Casteret).

## II<sup>o</sup>- PERIODE RECENTE.

La période récente se définit avec l'apparition des glaciations quaternaires et persiste encore de nos jours.

Suivant l'intensité du froid, il a existé trois stades distincts dans l'évolution karstique:

- Stade glaciaire: fossilisation complète du Karst et arrêt de toute évolution.
- Stade périglaciaire 1, avec persistance d'un sol gelé en profondeur. Les phénomènes karstiques se développent uniquement dans une mince pellicule superficielle ou ils sont très actifs.
- Stade périglaciaire 2, avec disparition du sol gelé en profondeur (stade actuel), ce qui permet la formation des réseaux souterrains profonds.

### 1<sup>o</sup>) Stade Glaciaire.

Le stade glaciaire est cité pour mémoire, car s'il a eu une influence certaine sur la morphologie externe (auges et cirques glaciaires: cirques de Gavarnie, d'Estaubé etc..) son rôle dans le creusement souterrain est nul, toute circulation souterraine étant empêchée par le gel. L'extension du stade glaciaire doit être en relation avec les diverses glaciations définies pendant le Quaternaire.

### 2<sup>o</sup>) Stade périglaciaire 1.

Le stade périglaciaire 1 correspond probablement à des périodes interglaciaires durant lesquelles se produisait un réchauffement superficiel, tandis que le gel persistait en profondeur. L'importance de ce stade est capitale dans l'évolution de la morphologie de surface du massif: formation des grands réseaux de lapiaz avec diaclases ouvertes de 15 à 20 m. de profondeur, évolution des replats et des lignes de falaises (gradins) sur le versant Sud espagnol, plus chaud, suivant le processus indiqué par J.CORBEL, mise en place des éboulis de gelivation et des sols soliflués.

L'évolution souterraine se localise uniquement à une petite zone superficielle de 20 à 30 m. d'épaisseur. La fig. 1 montre le processus théorique d'évolution du phénomène: la zone superficielle à alternance gel-dégel n'est pas d'épaisseur uniforme. Elle s'emménage dans les zones où peuvent persister les névés tandis qu'elle augmente dans les zones de bordure de falaises. Il peut ainsi s'établir dans ces falaises des circulations complexes alimentées par la fonte du névé supérieur et ressortant à la base de la falaise. Ces circulations se font aux dépens des diaclases, et de joints de stratifications redressés à la verticale et plus ou moins ouverts par suite du phénomène de flambage en bordure de falaise. Les eaux de fonte très agressives s'écoulent en conduite forcée dans ces vides préexistants et façonnent des cavités elliptiques ou ogivales de petites dimensions. Ce type morphologique de cavités a été décrit en premier par R.CIRY sous le nom de "grottes cutanées" à propos des formations périglaciaires de Bourgogne (8).

Les cavités cutanées sont le groupe le plus important de cavités reconnues actuellement dans le massif. La superposition de lignes de falaises a conditionné l'éta-



blissement de séries de cavités. La fig. 2 donne un exemple de concentration de cavités cutanées sur deux des grandes falaises de la région. Les cavités sont soit de simples diaclases à peine élargies, soit des réseaux complexes, creusés, dans ce cas, parallèlement à l'abrupt de la falaise.

Actuellement les cavités cutanées n'ont aucun rôle dans l'hydrologie régionale car elles sont suspendues au dessus des réseaux actifs profonds. Ce sont de véritables grottes fossiles: les avens ou diaclases ouvertes constituent des puits à neige ou à glace; les grottes sont glacées de manière permanente en haute altitude (au dessus de 2600 m.) tandis qu'en basse altitude elles sont en partie comblées par des dépôts soliflués. Leur proximité de la surface topographique les soumet aux variations de température externe, ce qui se traduit pour les grottes glacées par de fréquents et rapides changements des formations glaciaires en fonction de l'évolution de la température moyenne annuelle externe.

### 30) Stade périglaciaire 2.

Ce stade, qui est le stade actuel, se caractérise par la disparition du sol gelé en profondeur permettant l'installation de circulations souterraines profondes. On doit considérer que la disparition du sol gelé profond est un phénomène bien postérieur à la dernière phase glaciaire, ce qui lui attribue un âge d'une dizaine de milliers d'années au maximum. Par suite les réseaux souterrains profonds sont d'un creusement récent, subactuel. Leur évolution est très discontinuée dans le temps. En effet les observations de J. CORBEL (9) dans l'Arctique montrent que la disparition du permafrost n'est jamais subite et se fait suivant un processus complexe: disparition limitée au début à une courte période d'été, puis s'étendant progressivement à toute l'année, avec nombreux rejeux inverses. Même actuellement, l'évolution n'est pas continuée, puisque les grands froids d'hiver bloquent tous les écoulements d'eau. Le façonnement karstique principal se limite aux périodes de fontes des névés (printemps, été). Le massif du Mont Perdu se comporte dans ce cas comme un grand karst de montagne: aucun écoulement d'eau n'est aérien; les eaux de fonte, très agressives, s'enfouissent profondément dans le sol, et vont émerger aux fortes émergences des versants Français et Espagnols (Fig. 3). Les réseaux souterrains, très récents, se trouvent dans leurs premiers stades évolutifs. Tous leurs caractères morphologiques traduisent leur grande jeunesse:

**Pertes:** Elles sont toutes impénétrables. Beaucoup se produisent dans une petite fissure sans différenciation morphologique bien marquée. Les plus évoluées, s'établissent dans de petits puits de 5 à 10 m. de profondeur, obturés par des éboulis.

**Résurgences:** Elles sont en général impénétrables. L'eau émerge entre un ou plusieurs joints de stratification sans que souvent aucun conduit calibré n'ait été formé. Parfois les strates se tassent les unes sur les autres, l'eau émergeant de grandes ouvertures, mais il s'agit alors de cavités superficielles formées par gélivation, tandis qu'en profondeur ne s'amorce aucun couloir important.

**Cours Souterrains:** Ils sont le plus souvent inaccessibles, leurs existences étant prouvée uniquement par coloration. On connaît ainsi, dans le massif, 5 cours souterrains importants, de plusieurs centaines de m. de dénivelé et de plusieurs km. de longueur. Le seul pénétrable est celui de l'Aven du Marboré (longueur à vol d'oiseau 3,4 km., dénivelé 1070 m.) recoupé fortuitement à partir d'une fissure de lapiaz. L'eau y circule dans un système de diaclases étroites, de 0,50 à 1 m. de large sur 10 à 20 m. de hauteur. La diaclase s'élargit dans les zones de cascades ou de confluence, pour reprendre ensuite sa largeur primitive. Le creusement s'apparente à celui des torrents de montagne, avec notamment, présences des marmites d'érosion. Les grands éboulis et remplissages argileux sont inexistants.



Tous ces réseaux se raccordent rapidement au niveau de base local qui est constitué par le toit des calcaires gréseux non karstiques du Crétacé Supérieur. Les principales résurgences se situent toutes à ce niveau, ce qui explique leur position suspendue tant dans le cirque de Gavarnie, sur le versant Français, que dans les vallées glaciaires Espagnoles (voir Fig. 3).

En conclusion, il convient de considérer dans le Massif du Mont Perdu, 3 types de cavités:

des cavités anciennes, tertiaires, correspondant à une longue période d'érosion. Ces cavités sont spacieuses, bien évoluées morphologiquement, mais n'ayant pas atteint le stade de remplissages et de concrétionnement. Elles ne jouent qu'un rôle occasionnel dans l'hydrologie actuelle.

- des cavités cutanées, quaternaires, dues à l'existence d'une zone gelée superficielle où les phénomènes karstiques ont été très actifs. Ce sont des cavités fossiles. A ce type appartiennent la plupart des grottes glacées qui font la célébrité du Massif.

- des cavités récentes, subactuelles, très étroites, mal pénétrables, car elles sont dans les premiers stades de creusement. Leur rôle est essentiel dans l'hydrologie et elles assurent au Massif un drainage exclusivement souterrain.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- 1) DU CAILAR J., COUDERC J., DUBOIS P., 1953. - La source du Gave de Pau. Ann. de Spéléologie, t.VIII, n° 2. - Paris.
- 2) DU CAILAR J., COUDERC J., DUBOIS P., L'origine du Gave de Pau. Bull. Soc. Languedocienne de Géographie, Deuxième série, t.XXIV. -
- 3) BERTHES J., BONNET A., DU CAILAR J., COUDERC J., PLISSON J.P., DUBOIS P., 1953. - Recherches hydrospéologiques sur le Marboré. Actes du Premier Congrès International de Spéléologie. - Paris.
- 4) DU CAILAR J., COUDERC J., DUBOIS P., 1958. - Le massif calcaire du Mont Perdu. Actes du Deuxième Congrès International de Spéléologie. - Bari.
- 5) BONNET A., DU CAILAR J., COUDERC J., DUBOIS P., 1961. - Recherches spéologiques dans le Massif du Mont Perdu. Annales de Spéléologie, t.XVI, n°1. - Paris.
- 6) DU CAILAR J., DUBOIS P., 1953. - Sur quelques modalités de formation et d'évolution des dépôts cristallins dans les cavités de haute altitude. Actes du Premier Congrès International de Spéléologie. - Paris.
- 7) DUBOIS P., 1958. - Observations sur les dépôts de glace des cavités du Massif du Mont Perdu. Actes du Deuxième Congrès International de Spéléologie. - Bari.
- 8) CIRY R., 1961. - Une catégorie spéciale de cavités souterraines: les grottes cutanées. Annales de Spéléologie, t.XIV, fasc.1-2. - Paris.
- 9) CORBEL J., 1957. - Les karsts du Nord-Ouest de l'Europe. Institut d'Etudes Rhodaniennes, Mémoire N°. 12. - Lyon.

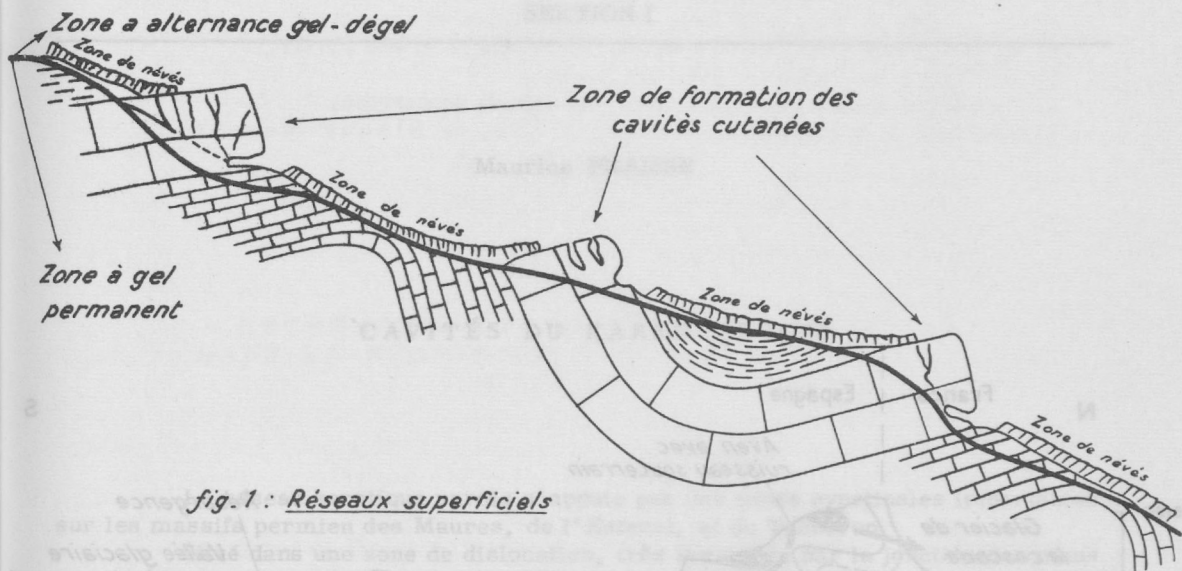


fig. 1 : Réseaux superficiels

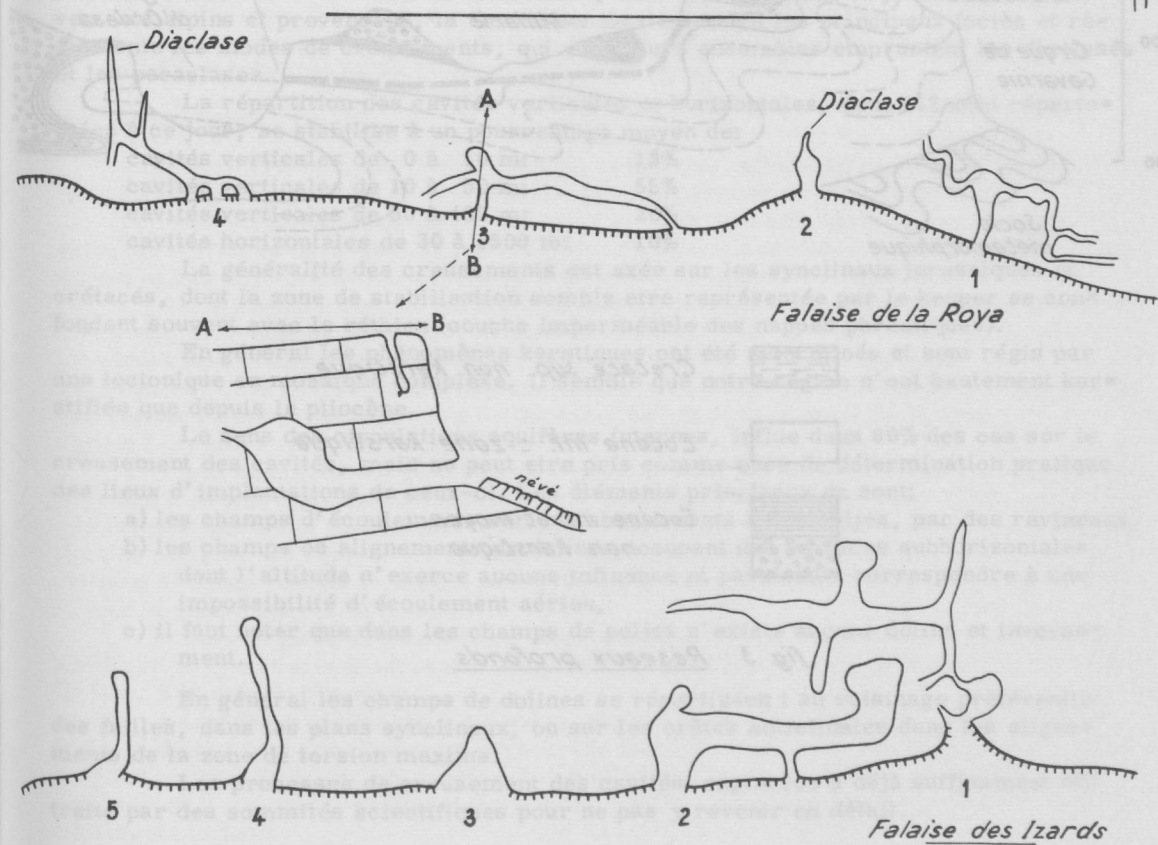


fig. 2 : Type de cavités cutanées en bordure de falaise

Tous ces réseaux se raccordent rapidement au niveau de base local qui est constitué par le toit des calcaires gréseux non karstiques du Crétacé Supérieur. Les principales résurgences se situent toutes à ce niveau, ce qui explique leur position suspendue tant dans le cirque de Gavarnie, sur le versant français des Pyrénées, que dans les grottes espagnoles (voir Fig. 3).

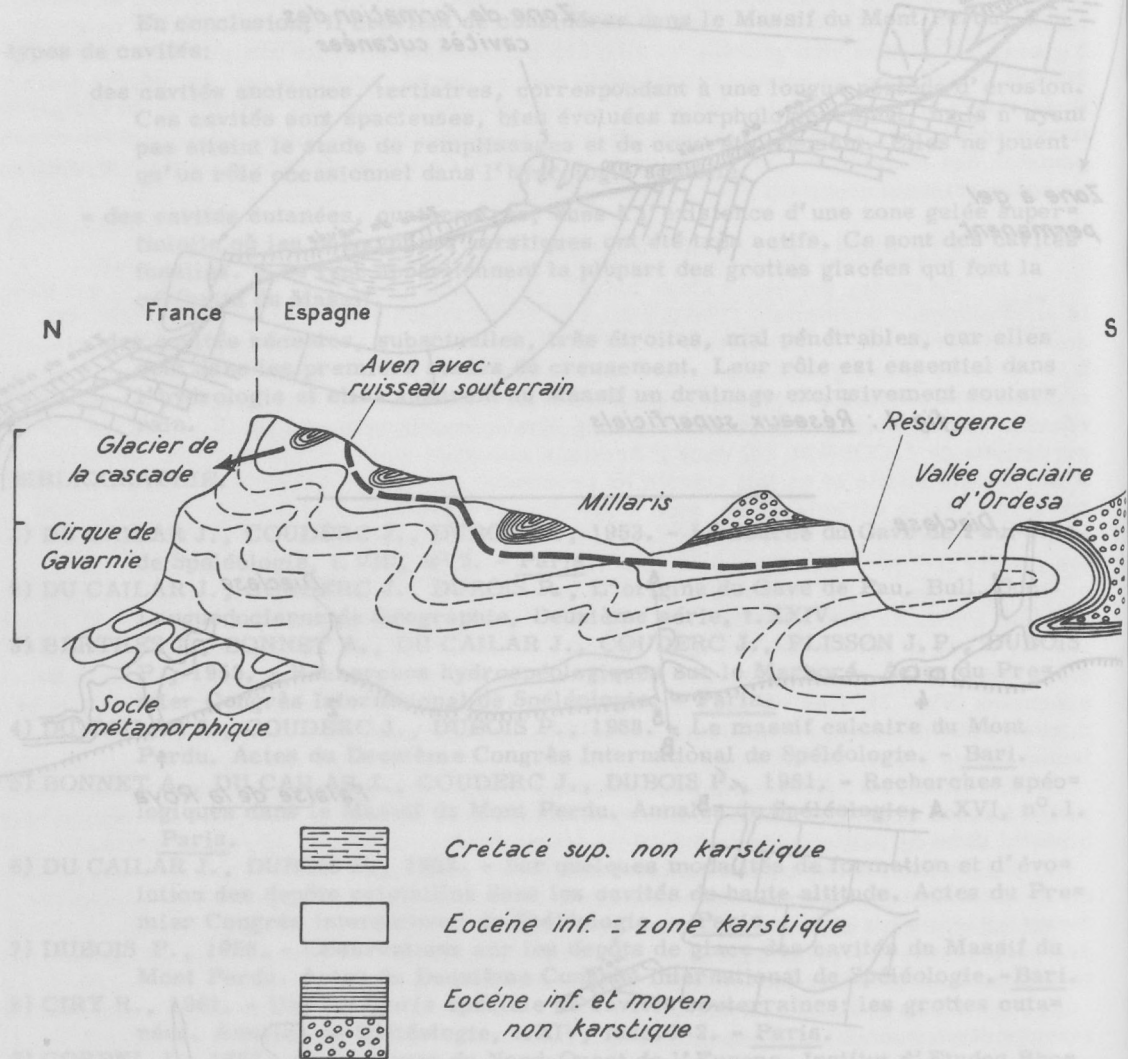


fig. 3 : Réseaux profonds

Maurice FRAISSE

## RECHERCHES SUR LES CAVITÉS DU KARST VAROIS DANS LA RÉGION DE BESANCON EN LACONIE (GRÈCE)

Le réseau karstique varois s'appuie par des zones synclinales importantes, sur les massifs permien des Maures, de l'Esterel, et du Tanneron.

Situé dans une zone de dislocation, très accentuée par la jonction des mouvements alpins et provençaux, la tectonique locale oriente les principaux faciès et réglemente les modes de creusements, qui dans leurs ensembles empruntent les diaclasses et les paraclases.

La répartition des cavités verticales et horizontales, dont 542 sont répertoriées à ce jour, se stabilise à un pourcentage moyen de:

cavités verticales de 0 à 10 m:	15%
cavités verticales de 10 à 50 m:	55%
cavités verticales de 50 à 400 m:	20%
cavités horizontales de 30 à 1500 m:	10%

La généralité des creusements est axée sur les synclinaux jurassiques et crétacés, dont la zone de stabilisation semble être représentée par le keuper se confondant souvent avec le réthien (couche imperméable des nappes phréatiques).

En général les phénomènes karstiques ont été déterminés et sont régis par une tectonique en mosaïque complexe. Il semble que notre région n'est hautement karstifiée que depuis le pliocène.

Le sens des circulations aquifères internes, influe dans 80% des cas sur le creusement des cavités, mais ne peut être pris comme base de détermination pratique des lieux d'implantations de ceux-ci. Les éléments principaux en sont:

- a) les champs d'écoulements aériens aboutissants à des poljes, par des ravineaux,
- b) les champs ou alignements de dolines occupant des surfaces subhorizontales dont l'altitude n'exerce aucune influence et paraissant correspondre à une impossibilité d'écoulement aérien,
- c) il faut noter que dans les champs de poljes n'existe aucune doline et inversement.

En général les champs de dolines se répartissent au voisinage préférentiel des failles, dans les plans synclinaux, ou sur les crêtes anticlinales dans les alignements de la zone de torsion maxima.

Les processus de creusement des cavités explorées a déjà suffisamment été traité par des sommités scientifiques pour ne pas y revenir en détail.

Il faut noter que le Haut Var, très accidenté tectoniquement n'englobe que 32% des cavités du Département du Var (Avens), mais gagne à être étudié en détail, car il comporte les hauts lieux de travail spéléologique dans et compartimenté par:

- a) les Gorges du Verdon avec ses résurgences et ses pertes,
- b) les Gorges de l'Artuby avec ses résurgences et ses pertes,
- c) les Gorges de Jabron avec ses pertes,
- d) les Gorges de Baudinard avec son réseau souterrain,
- e) les Plans de Canjuers, de Rue, d'Uou, de Blaque Meyanne.

Maurice FRAISSE

## CAVITÉS DU KARST VAROIS

France Var

Var

Var

La répartition des cavités karstiques varoises s'appuie par des zones typiques importantes sur les massifs permien des Maures, de l'Estérel, et du Tanneron. Elles sont situées dans une zone de dislocation, très accidentée par les « chertains » versants alpins et provençaux. La tectonique locale est un des principaux facteurs et répercussions les modes de développement, qui sont les suivants : crenaux, écoulements et les parois. La répartition des cavités verticales et horizontales, dont 54% sont réparties à ce jour, se stabilise à un pourcentage moyen de :

cavités verticales de 0 à 10 m	18%
cavités verticales de 10 à 50 m	52%
cavités verticales de 50 à 400 m	20%
cavités horizontales de 30 à 1500 m	10%

La généralité des crenaux est axée sur les synclinaux jurassiques et ordoviciens, dont la zone de stabilisation semble être représentée par le karst au cœur fondant souvent avec le régime (couche topographique des nappes phréatiques). En général les phénomènes karstiques ont été déterminés et sont régis par une tectonique en mosaïque complexe. Il semble que notre région n'est pas un karst altéré que depuis le pliocène.

Le sens des circulations souterraines, influé dans 80% des cas sur le crenement des cavités, mais ne peut être pris comme base de détermination pratique des lieux d'implantations de ceux-ci. Les éléments principaux en sont :

- a) les champs d'écoulements souterrains appartenant à des poises, par des ravineaux
- b) les champs ou alignements souterrains occupant des nappes subhorizontales dont l'altitude n'exerce aucune influence et paraissant correspondre à une impossibilité d'écoulement rétrograde.
- c) il faut noter que dans les champs de poises n'existe aucune doline et inversement.

En général les champs de dolines se répartissent à un voisinage préférentiel des failles, dans les plans synclinaux, ou sur les orogènes anticlinaux dans les alignements de la zone de torsion maxima. Les processus de crenement des cavités explorées a déjà suffisamment été traité par des comités scientifiques pour ne pas y revenir en détail.



Jean PETROCHILOS

## RECHERCHES HYDROSPÉLÉOLOGIQUES DANS LA RÉGION DE DYROS EN LACONIE (GRÈCE)

La région de Dyros se trouve à l'Ouest de la péninsule de Laconie entre Aréopolis et Pyrgos. Elle se compose d'une petite vallée se dirigeant de l'Est à l'Ouest qui aboutit à une baie, du mont de Sainte-Elie d'Aréopolis au Nord de cette vallée et de la baie et des versants du Mont Saint-Elie de Pyrgos au Sud.

### SITUATION GEOLOGIQUE.

Dans la région de Dyros il y a des calcaires métamorphiques (crétacé supérieur) ainsi que de marnes du pliocène, sables, conglomérats et de calcaires.

Le quaternaire ancien se présente par des brèches, conglomérats polygéniques, de calcaires poreuses. Il y a aussi des formations de terra rossa du quaternaire moyen et des dépôts plus récents de galets remaniés et de sols argileux et calcaires.

Les roches, dont la région de Dyros se compose, ont subi, sauf le plissement alpin, des mouvements verticaux, comme il résulte d'une part par la transgression du pliocène à une hauteur de 10 mètres (et près d'Itylon jusqu'à 200 mètres), et de couches quaternaires dans la mer, mais de provenance terrestre. Par conséquence on peut dire que des mouvements de montée et de descente ont changé l'aspect de la rade et de la région à diverses époques.

Les changements du niveau des eaux ne sont pas locaux. Au Sud du Péloponèse et même à la péninsule de Lacédémone on a remarqué au cours des dernières recherches géologiques aux cotes helléniques un ancien ravin noyée à une longueur de plus de 500 m près de Geraka. Ce ravin a été également remarqué près du Cap Maléas et par des formations à débris osseux terrigène conservé dans une petite cavité près de la surface de la mer et jusqu'à 5 m. au dessus.

Dans le golfe de Laconie on a observé un récent affaissement de la cote, constaté par la découverte d'anciens bâtiments sous le niveau de la mer dans une profondeur de 5 m. à la site de Mantilou.

L'opinion ci-dessus à propos du déplacement des côtes de la péninsule de Laconie et de la région de Dyros est corroborée par les remarques morphologiques concernant les grottes de la région; plusieurs ruisseaux souterrains ont des embouchures sous-marines où il y a des cavités pleines d'eau soumise, dont le niveau ne dépasse pas la surface de la mer.

Dans certaines cavités des grottes sus-mentionnées il y a des stalagmites développées sur un sol se trouvant maintenant de 2 à 5 mètres sous le niveau de la mer.

Ainsi, si nous enlevons les variations des côtes, résultant de différentes suppositions, on peut résumer les anciennes lignes des côtes de la péninsule de Laconie, incontestables, comme suit:

- 1) Une à 14,5 m. au dessus de la mer, que nous distinguons à travers les trous des Lithodomes à proximité des grottes de la Messénie (No.36, 620).
- 2) Une à 8 mètres au dessus de la mer que nous distinguons aux toits des petites grottes du côté Nord de la baie Dyros, semblables à des trous des Lithodomes.
- 3) Une plus récente à 5 mètres au dessous du niveau de la mer qui se distingue des fondations près de la mer et des bâtiments des anciens habitants du pays près de Gythion, de même que des stalagmites noyées de la grotte Dyros, etc.

Les deux premiers mouvements sus-mentionnés se rapportent à des lignes d'anciennes côtes qui sont formées sur des matériaux de quaternaire ancien et sont en partie couvertes par des éboulis plus récents.

Mais la région de Dyros et toute la péninsule de Laconie ont subis aussi d'autres changements qui ont formé son relief actuel. Ces changements sont dus aux grandes et petites transitions des lambeaux à la suite d'une corrosion souterraine.

Le calcaire de la région de Dyros est macro- ou microcristallin très cohérent, dépecé par des cataclases. Il porte sur sa surface des champs de lapiaz avec des profondes entailles remplies de terra rossa.

Les failles verticales dans le calcaire se dirigent selon les observations dans une masse rocheuse au NE de Pyrgos Sclavounakos vers N 70° E, N 70° W, N et W; à Portarakia elles se dirigent vers W, N 30° E, N 50° E et N 70° E. Ce sont celles des directions NNW-SSE et W-E qui prédominent et qui s'identifient aux directions des grands murs-failles rocheuses des côtes, des galeries, des plus importantes grottes et des vallées de la région. Quelques-uns des failles sont visibles par les murs suivantes:

Mur dont la fin se trouve au dessus de l'entrée de la grotte No.25. Direction NNW-SSE, longueur 45 m.

Mur bornant la Place Portarakia et commençant près de la grotte No.923; la mur atteint jusqu'à la cote une longueur de 100 mètres; direction NNW-SSE.

Mur perpendiculaire aux deux susdites, au dessus de la place Portarakia et des entrées des deux grottes No.25 et G.923. Direction W-E; longueur 100 m.

Côte nord de la baie de Dyros: Direction W-E, longueur 500 mètres.

On a observé de plus les directions des galeries dans les grottes:

	NNW-SSE	NNE-SSW	NW - SE	NE - SW	W - E
Grotte No. 25	50 m		600 m		150 m
Grotte No.923	40 m			25 m	200 m
Grotte No.922		41 m			
Grotte No.976		10 m			
Grotte No.920	22 m				
Grotte No.267	215 m				160 m
Grotte No.980	100 m				
Ravin No.981 <sup>1)</sup>	1000 m				

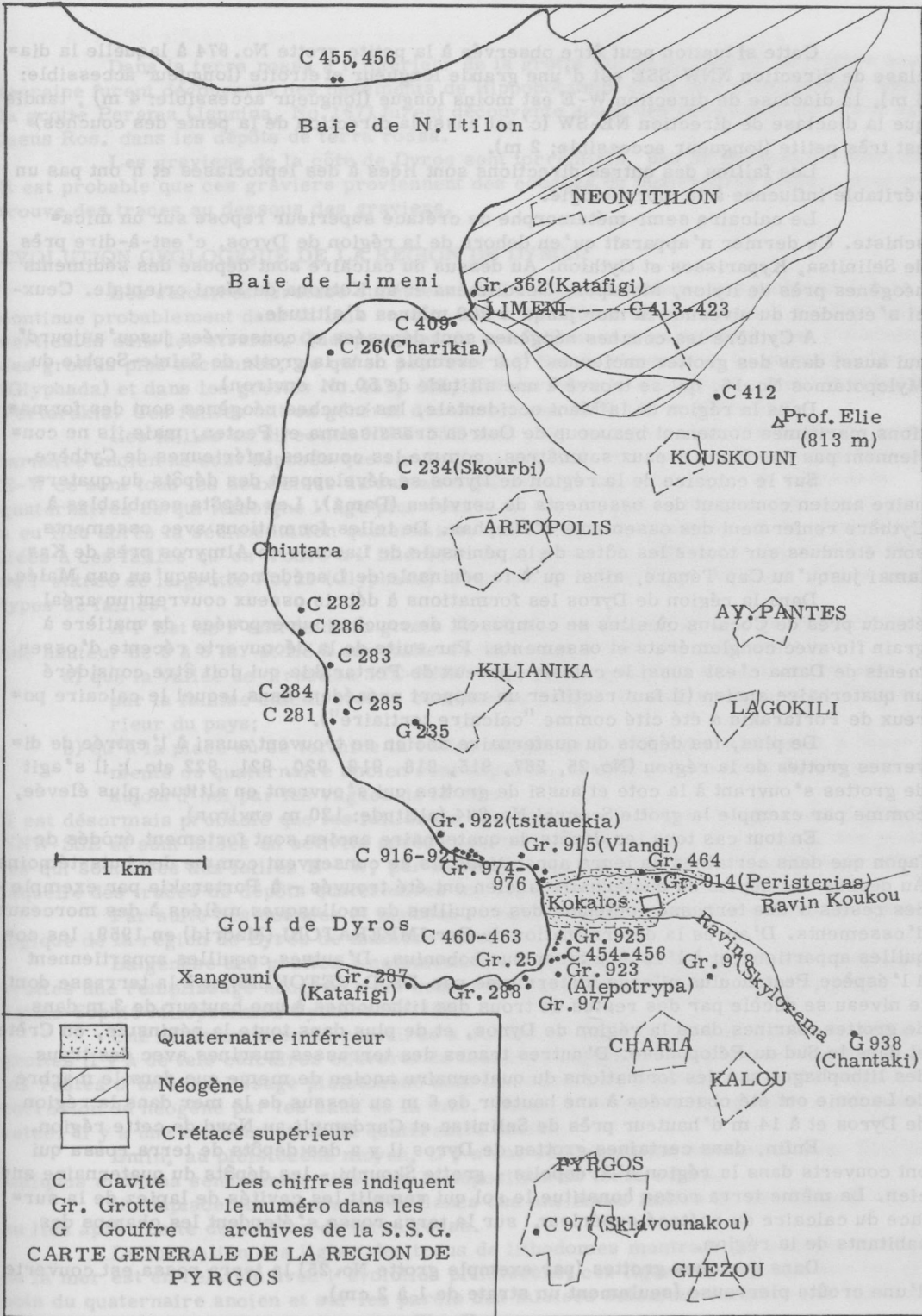
La vallée Koukou montre: direction W-E, longueur 4500 m

La vallée Skylorema montre: direction W-E, longueur 1000 m

Vallée entre la place Portarakia et l'entrée de la grotte No.25 près de Caravostassio: direction NNE-SSW, longueur 45 mètres.

En somme résulte une longueur de 6610 m pour la direction dominante des failles de W-E, une longueur de 1617 m pour la direction NNW-SSE.

<sup>1)</sup> Parcours de galerie active



Cette situation peut être observée à la petite grotte No. 974 à laquelle la diac= classe de direction NNW-SSE est d'une grande longueur et étroite (longueur accessible: 6 m), la diac= classe de direction W-E est moins longue (longueur accessible: 4 m), tandis que la diac= classe de direction NE-SW (c'est aussi la direction de la pente des couches) est très petite (longueur accessible: 2 m).

Les failles des autres directions sont liées à des leptoclases et n'ont pas un véritable influence à la morphologie.

Le calcaire semi-métamorphe de crétacé supérieur repose sur un mica= schiste. Ce dernier n'apparaît qu'en dehors de la région de Dyros, c'est-à-dire près de Selinitsa, Kyparissos et Gythion. Au dessus du calcaire sont déposés des sédiments néogènes près de Itylon, Mezapon, Gerolimena et au Kotrona de Mani orientale. Ceux-ci s'étendent du niveau de la mer jusqu'à 200 mètres d'altitude.

À Cythère les couches néogènes sont déposées et conservées jusqu'à aujourd'hui aussi dans des grottes anciennes (par exemple dans la grotte de Sainte-Sophie du Mylopotamos No. 16, qui se trouve à une altitude de 50 m. environ).

Dans la région de la Mani occidentale, les couches néogènes sont des formations maritimes contenant beaucoup de *Ostrea crassissima* et *Pecten*, mais ils ne contiennent pas une faune d'eaux saumâtres, comme les couches inférieures de Cythère.

Sur le calcaire de la région de Dyros se développent des dépôts du quaternaire ancien contenant des ossements de cervides (*Dama*). Les dépôts semblables à Cythère renferment des ossements d'*Elephas*. De telles formations avec ossements sont étendues sur toutes les côtes de la péninsule de Laconie de Almyros près de Kalamai jusqu'au Cap Ténare, ainsi qu'à la péninsule de Lacédémon jusqu'au cap Malée.

Dans la région de Dyros les formations à débris osseux couvrent un aréal étendu près de Cocalos où elles se composent de couches superposées de matière à grain fin avec conglomérats et ossements. Par suite de la découverte récente d'ossements de *Dama* c'est aussi le calcaire poreux de Portarakia qui doit être considéré un quaternaire ancien (il faut rectifier un rapport précédent dans lequel le calcaire poreux de Portarakia a été cité comme "calcaire tertiaire").

De plus, les dépôts du quaternaire ancien se trouvent aussi à l'entrée de diverses grottes de la région (No. 25, 267, 915, 918, 919, 920, 921, 922 etc.); il s'agit de grottes s'ouvrant à la cote et aussi de grottes qui s'ouvrent en altitude plus élevée, comme par exemple la grotte Scourbi No. 234 (altitude: 120 m environ).

En tout cas tous les dépôts du quaternaire ancien sont fortement érodés de façon que dans certaines de leurs apparitions ils se conservent comme des butts-témoins. Au dessus des dépôts du quaternaire ancien ont été trouvés - à Portarakia par exemple - des restes d'une terrasse contenant des coquilles de mollusques mêlées à des morceaux d'ossements. D'après la détermination de Der IMPERATORI (Madrid) en 1959, les coquilles appartiennent à l'espèce *Strombus bobonius*. D'autres coquilles appartiennent à l'espèce *Pectunculus pilosus* (déterminée par Dr. D. VETOULIS) et à la terrasse dont le niveau se décèle par des restes de trous des lithodomes à une hauteur de 3 m dans des grottes marines dans la région de Dyros, et de plus dans toute la péninsule, en Crète et dans le Sud du Péloponèse. D'autres traces des terrasses marines avec des trous des lithophages sur des formations du quaternaire ancien de même que dans le marbre de Laconie ont été observées à une hauteur de 6 m au dessus de la mer dans la région de Dyros et à 14 m d'altitude près de Selinitsa et Cardamyli au Nord de cette région.

Enfin, dans certaines grottes de Dyros il y a des dépôts de terra rossa qui ont couverts dans la région d'Aréopolis - grotte Skourbi - les dépôts du quaternaire ancien. La même terra rossa constitue le sol qui remplit les cavités de lapiez de la surface du calcaire du crétacé supérieur, sur la terra rossa s'étendent les champs des habitants de la région.

Dans quelques grottes (par exemple grotte No. 25) la terra rossa est couverte d'une croûte pierreuse (seulement un strate de 1 à 2 cm).



Dans la terra rossa à l'intérieur de la grotte No. 25 au fond de la rivière souterraine furent découverts des ossements de Hippopotamus et de Bos primigenius. Dans la grotte Perama (Jannina, No. 167) furent découverte aussi des ossements de Ursus spelaeus Ros. dans les dépôts de terra rossa.

Les graviers de la côte de Dyros sont torrentiels, pas de provenance maritime. Il est probable que ces graviers proviennent des couches du quaternaire ancien, dont on trouve des traces au dessous des graviers.

## EVOLUTION GEOLOGIQUE DE LA REGION DE DYROS.

Les calcaires (crétacé supérieur) de la région forment une synclinale qui se continue probablement dans la baie sous la mer. Aux côtes de cette baie il y a des failles verticales dans les strates. Quelquesunes de ces failles sont en relation avec l'évolution des grottes plus anciennes, ce qu'on peut voir à l'Est de l'entrée de la grotte No. 25 (Glyphada) et dans les grottes No. 457, 458, 459 derrière la chapelle du Saint-Sauveur à Portarakia. Ces failles ont en général des directions de E à W et NNW-SSE.

Les failles en direction NNW-SSE sont plus anciennes; les sédiments du quaternaire ancien ne sont déposés que sur le flanc déplacé vers le bas. En cas des failles E-W ce sont tous les deux blocs du calcaire qui portent une couverture de sédiments quaternaires ce qui témoigne l'âge plus récent de ces failles; le mouvement tectonique a eu lieu après la sédimentation quaternaire. Les formes de corrosion et de remplissage liées à ces failles qu'on trouve à l'intérieur de la grotte No. 923 (Alepotypa) et à l'Est de l'entrée de la grotte No. 25 (Glyphada) montrent de même l'âge différent de ces deux types de failles.

A l'Est de l'entrée de la grotte No. 25 où l'on trouve un mur de calcaire avec une hauteur de 5 à 8 m. et lié à une faille de direction E - W, on peut observer:

- a) que la vallée de direction SSE-NNW avec une longueur de 45 m s'interrompt par la falaise calcaire et se continue au dessus du mur rocheux vers l'intérieur du pays;
- b) qu'à la place où se termine la vallée auprès de la côte, des sédiments à ossements du quaternaire ancien sont déposés, érodés par les eaux de la vallée et aujourd'hui par les vagues de la mer.

Il est désormais probable que les failles de direction E - W préexistaient avant celles de NNW-SSE et sont mises en activité après la formation des autres. Il y a aussi des grottes qui sont liées aux failles E - W, par exemple la grotte No. 978 à Flamokotrono dans laquelle des traces de dépôts quaternaires ont été conservés.

Par suite des données et pensées ci-haut on peut résumer une évolution géologique de la région de Dyros de manière suivante:

La genèse des grottes a commencée à l'époque prépléistocène; dans quelques grottes un remplissage néogène a été conservée jusqu'aujourd'hui (exemple: grotte Sainte-Sophie Milopotamou Cythère No. 16).

Une sédimentation de calcaires a eu lieu au début du pléistocène; dans quelques grottes il y a de tels calcaires couverts de marnes néogènes. Ces marnes néogènes sont les restes d'un remplissage pléistocène dont les matériaux conviennent de l'érosion et corrosion du néogène par les eaux de la mer. Ainsi, l'évolution des grottes a été renouvelée. Il y a une sédimentation du quaternaire ancien.

Enfin, au pléistocène moyen, il y a une sédimentation de marnes avec Elephas antiquus et Dama senoniensis ainsi que la déposition de terra rossa.

Un déplacement nouveau des flancs des anciennes failles de direction W - E a eu lieu après cette déposition de terra rossa.

La formation des lignes des trous de lithodomes montrant les anciens niveaux de la mer est en relation avec l'évolution pléistocène; ces lignes se trouvent sur les dépôts du quaternaire ancien et sur les parois des falaises calcaires formées par les mouvements le long des failles de direction W - E.



D'autre part, certaines de ces lignes sont couvertes de dépôts de terra rosa. Il y a plusieurs lignes d'anciens niveaux de la mer. La conservation la meilleure montre la ligne de 3 mètres qui doit être à cause de cela la ligne plus récente.

Vraisemblablement, la baie de Dyros n'a pas existé jusqu'au pléistocène moyen. A sa place se trouvait un pays probablement avec des dolines. Ce pays donnait la possibilité d'y exister pour les hippopotames à cette période-là. La formation de la baie est en relation avec les mouvements le long des failles en direction E - W.

## REMARQUES HYDROLOGIQUES.

L'approvisionnement en eau des habitants de toute la région de Dyros se fait aujourd'hui des eaux de pluie ramassées et conservées en citernes. Dans la région n'existent pas de sources ou des puits exploitables.

Les eaux de la rivière souterraine de la grotte No. 25 (Glyphada) ont été examinées avec les résultats suivants:

- a) Eau à l'embouchure à la mer près de l'entrée de la grotte (pris le 3 janvier 1959 à marée haute et vent du Sud):  
Dureté totale français: 126°. pH=7,5. Température 16°C, gout saumâtre.
- b) Eau du point où se trouve le siphon de la rivière souterrain (avril 1958):  
Dureté totale français: 184°. pH=7.
- c) Eau du grand lac de la grotte qu'on rencontre premièrement (pris le 15 février 1959 à marée basse et vent du Nord):  
Dureté totale français: 88°. pH=6,8. Température 17°C, de la surface du lac.  
Dureté totale français: 144°. pH=7. Du fond du lac à une profondeur de 2 mètres
- d) Eau de l'intérieur de la grotte coulant violemment vers le lac (pris le 28 décembre 1958 à marée haute et vent du Sud):  
Dureté totale français: 124°. pH=7,5. Température 16°C. Gout un peu saumâtre
- e) Eau du point le plus éloigné de l'entrée accessible dans la grotte (pris le 28 décembre 1959, marée haute, vent du Sud):  
Dureté totale français: 124°. pH=7,5. Température 16°C. Gout saumâtre.
- f) Eau du même point (pris le 15 février 1959, marée basse, vent du Nord):  
Dureté totale français: 88°. pH=6,8.
- g) Eau de la galerie à l'amont de la rivière souterraine (galerie la plus orientale de la grotte; eau pris en avril 1958, marée haute):  
Dureté totale français: 124°. pH=7.

Le niveau des eaux se trouve en même niveau que la surface de la mer et varie selon les changements de cette surface; la différence saisonnière entre marée basse et marée haute est de 45 cm. L'écoulement des eaux dans la grotte est en général très calme; seulement aux endroits étroits il y a des tourbillons.

L'embouchure des eaux provenant de la rivière souterraine dans la grotte à la mer se trouve à l'Ouest de l'entrée de la grotte. Ceci a été constaté en décembre 1958 par une coloration avec fluoréscéine au siphon au commencement de la partie sèche de la grotte. Le fluoréscéine a été constaté à l'embouchure après moins qu'une demi-heure; à cause de cela on a constaté que la vitesse du mouvement de l'eau a été 7,8 m par minute. Cette vitesse du mouvement de l'eau est la même que celle à l'intérieur de la grotte et à cause de cela il est évident que le parcours des eaux entre le siphon et l'embouchure est un parcours direct.

Il y a aussi des lacs souterrains dans la grotte No. 923; la surface de ces lacs est en niveau de la surface de la mer; les lacs montrent aucun mouvement. -

Un puits de la Communauté de Pyrgos a été fait à une distance de 25 m de la côte auprès du torrent Sud de la région de Dyros (Skyloréma) et a donné de l'eau saumâtre.

Une embouchure d'eau karstique qui se trouve dans la mer près de Kokalo a également un petit débit d'eau saumâtre. L'eau y ressort du calcaire couvert de quaternaire ancien. -

Une autre embouchure avec un eau karstique arrive près de la place Portarakia à 3 mètres au Nord du petit puits de Portarakia. L'eau de ce puits est également saumâtre (dureté totale français le 15 février 1959: 88°, pH=7). Le niveau du puits est d'accord avec la surface de la mer; le puits se trouve à une distance de 1m. de la côte.

Une source d'eau saumâtre se trouve aussi à l'Ouest de l'entrée de la grotte No. 25 à une distance de 124 m. de celle-ci. Il est probable que cette eau fait partie de l'eau de la grotte.

Il n'existe pas d'autre source dans la région de Dyros. Les eaux karstiques dans le marbre de la région de Dyros se trouvent donc dans un horizon commun tel qu'il est mentionné par les recherches des eaux souterraines dans la région d'Otrante en Italie; au dessous de cet horizon il y a de l'eau de mer. Cet horizon n'est pas uniforme comme celui dans les puits normales; le développement karstique a créé des directions privilégiées en ce qui concerne l'écoulement des eaux souterraines suivant les failles. Ainsi il y a des rivières souterraines dans les élargissements souterrains dans les grottes au dessus de la surface actuelle de la mer.

## CONCLUSIONS.

Il est probable qu'il y a de l'eau de mer au dessous des eaux karstiques dans les réseaux souterrains de la région de Dyros. Du moment que le débit de l'eau de la grotte No. 25 est assez grand et la qualité de l'eau ne dépasse pas les 124° de dureté française malgré son mouvement tourbillonnant, la découverte d'eau potable à un point très éloigné de la côte paraît probable.

L'eau de la grotte No. 923 (Alepotrypa) ne s'écoule pas assez vite; il reste un eau potable à la surface libre du lac qui se trouve à une distance d'environ 280 m de la côte.

Pour réaliser les plans d'exploitations des eaux des grottes No. 25 et 923, il faut mesurer le débit de l'horizon et il faut observer continuellement la qualité des eaux; de plus il faut être observé si l'eau qui remplit les petites "vides" du calcaire possède une possibilité assez grande à son renouvellement. Enfin il faut faire des recherches concernant la présence et la qualité des eaux dans les zones fracturées assez loin de la côte de la mer.

TABLEAU I

ÉPOQUE PRÉPLIOCÈNE		FAILLES Direction E-W et NNW-SSE	FORMATION DES GROTTES
ÉPOQUE PLIOCÈNE	Déplacement positif de la terre	LITHOMOGÉNÈSE Déposition des conglomérats, marnes et calcaires	MODIFICATION DES GROTTES —
EPOQUE PLEISTOCÈNE INFÉRIEURE	Déplacement négatif de la terre	CORROSIONS	RENOUVELLEMENT DES GROTTES
	Déplacement positif de la terre	DÉPOSITION de formations quaternaires anciennes	LITHOMOGÉNÈSE DANS LES GROTTES
ÉPOQUE PLÉISTOCÈNE MOYENNE	Déplacement négatif de la terre	DÉPOSITION de Terra rossa REACTIVITE des failles de direction E - W	
ÉPOQUE PLÉISTOCÈNE SUPÉRIEURE	Déplacement negatif de la terre	CORROSIONS	FORMATION des lignes des niveaux ma= ritimes à 18,9 et 6,3 au dessus de la mer
	Déplacement positif de la terre	DÉPOSITION de formations néo-quaternai= res	NOUVELLE LITHOMOGÉNÈSE
ÉPOQUE PRÉHISTORIQUE	Déplacement negatif de la terre	CORROSIONS des formations néo-quater= naires	
ÉPOQUE HISTORIQUE	Déplacement positif de la terre	NOUVEAUX ALLUVIONS	INONDATIONS DES GROTTES PAR LA MER

Le déplacement positif ou négatif de la terre peut être un déplacement contraire du niveau de la mer.

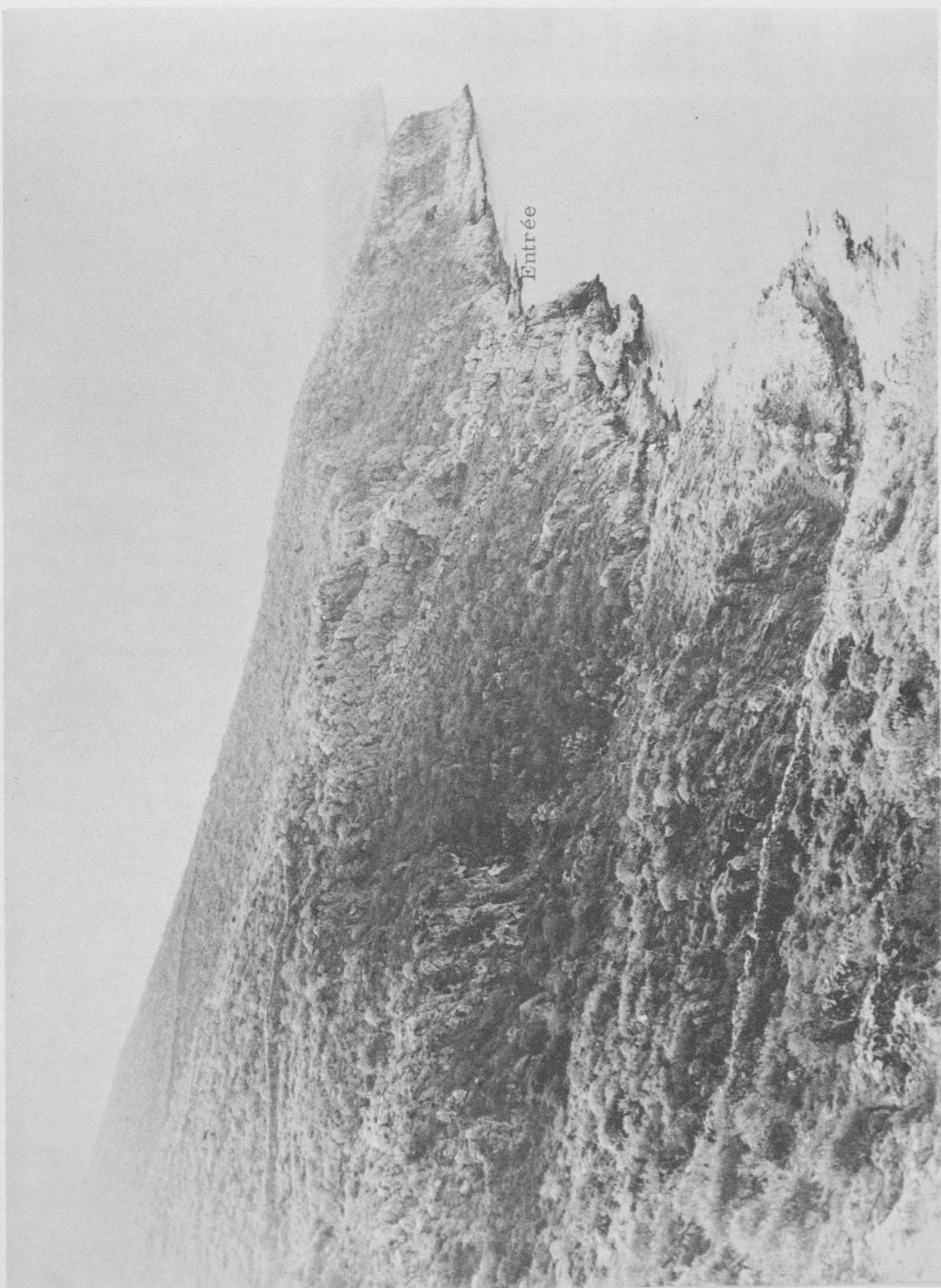


Fig. 1  
Cote SE de la  
baie de Dyros  
avec l'entrée de  
la grotte Glyphada  
(Gr. 25)



Fig. 2

Panorama  
de la baie  
de  
DYROS





E. K. TRATMAN

## THE CAVES OF NORTHWEST CLARE, EIRE.

The paper deals essentially with the work of University of Bristol Spelaeological Society in Northwest Clare over the past ten years. The total length of the various cave systems is 35 kilometres and of these the Spelaeological Society has discovered about 20 kilometres and has surveyed to grade 4 of the Cave Research Group of Great Britain more than 32 kilometres and the remainder to C.R.G. grade 2; all the figures used to illustrate this paper are taken from the published Proceedings of that Society though in the case of figure 1 some modifications have been made.

The area involved (fig. 1) is the northern end of the outcrop of the Clare Shales over the top of 500 metres of Carboniferous Limestone (DOUGLAS 1909) of D-S age (Viséan). this lies unconformably on Granite. The main mass of high ground is in the north where it rises to a little over 300 metres on Knockaun's Mountain on the west, Slieve Elva in the centre and Poulacapple ridge on the east. In the southern part of the region is the extensive catchment of the Doolin Cave system. There are no major geological faults in the area.

The explorable cave systems are all directly related to catchment areas on the Clare Shales of Namurian age (HODSON 1953) where the water is concentrated into streams, which go underground when they reach the limestone. All the caves have a dendritic pattern and their size in many cases is directly proportional to the present day catchment area. For example in the Cullaun series (fig. 1, 5 (1) - 5(3)), the largest catchment area is related to 5 (2), which has the roomiest passages, Pollnagolum Cave (fig. 1, 1) supplied from the east side of Slieve Elva, has the largest catchment of all the caves and has correspondingly large passages, while the Coolagh River Cave (fig. 1, 3) comes next and the Doolin Cave (8) third.

The limestone is bedded nearly horizontally with an average dip of  $2^{\circ}$ -  $3^{\circ}$  to the south southwest and has a gently undulating surface on which the shales rest. The limestone has an old erosion surface and the shales present a discontinuity. There are many closed depressions or Poljes. Some of these flood intermittently and are known locally as "Turloughs" or disappearing lakes. There are two principle sets of joints approximately north to south and east to west. The former are continuous over long distances and are often calcite filled. The north-south joints have obviously played an important part in the development of the caves. In many places the calcite filling

in the joints has been the starting point for solutional activity due to the crystal structure permitting ready entry of water; this is illustrated in figure 2, b and c.

Figure 2.

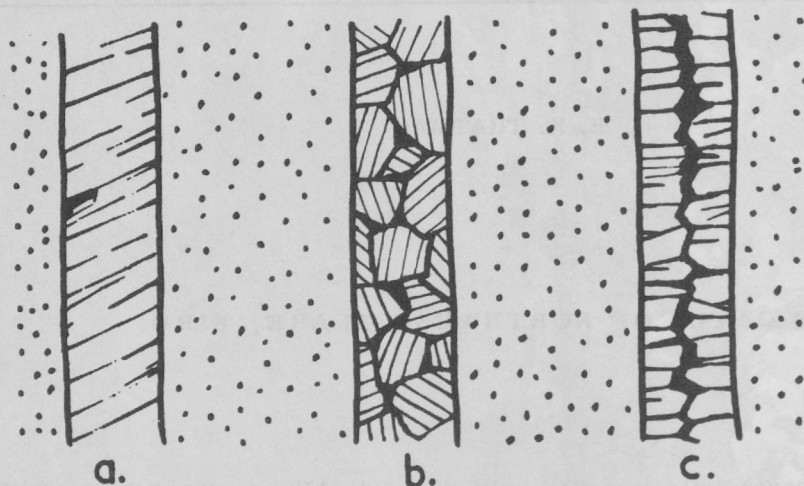


Diagram of calcite vein forms.

The principal passage forms are two. The high narrow winding canyon passage, usually with a "T" section at roof level and the low wide bedding joint passages. The meanders of the canyon passage are usually inherited from the bedding joint anastomosis channel stage as one set of such channels becomes dominant and takes most of the water. However there is a marked tendency for the streams to straighten passages by solution along the vertical joints. Often as a result of this there is a false slip off slope with the deepest part of the channel across the chord of the arc of the bend instead of along the circumference. Another recurring feature is shelving. Differential solution along the bedding joints has produced wide thin shelves with the edges inwards towards the streamway, (Figure 3).

Figure 3.

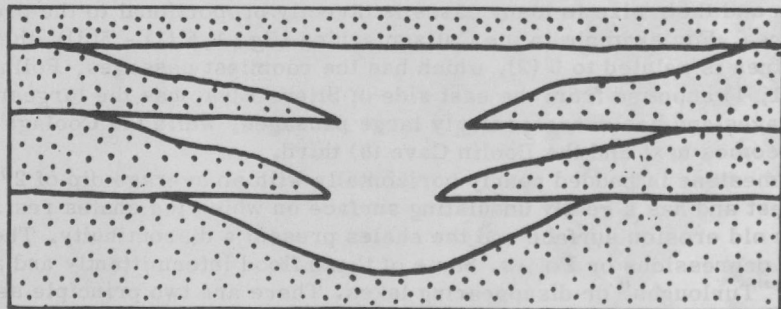
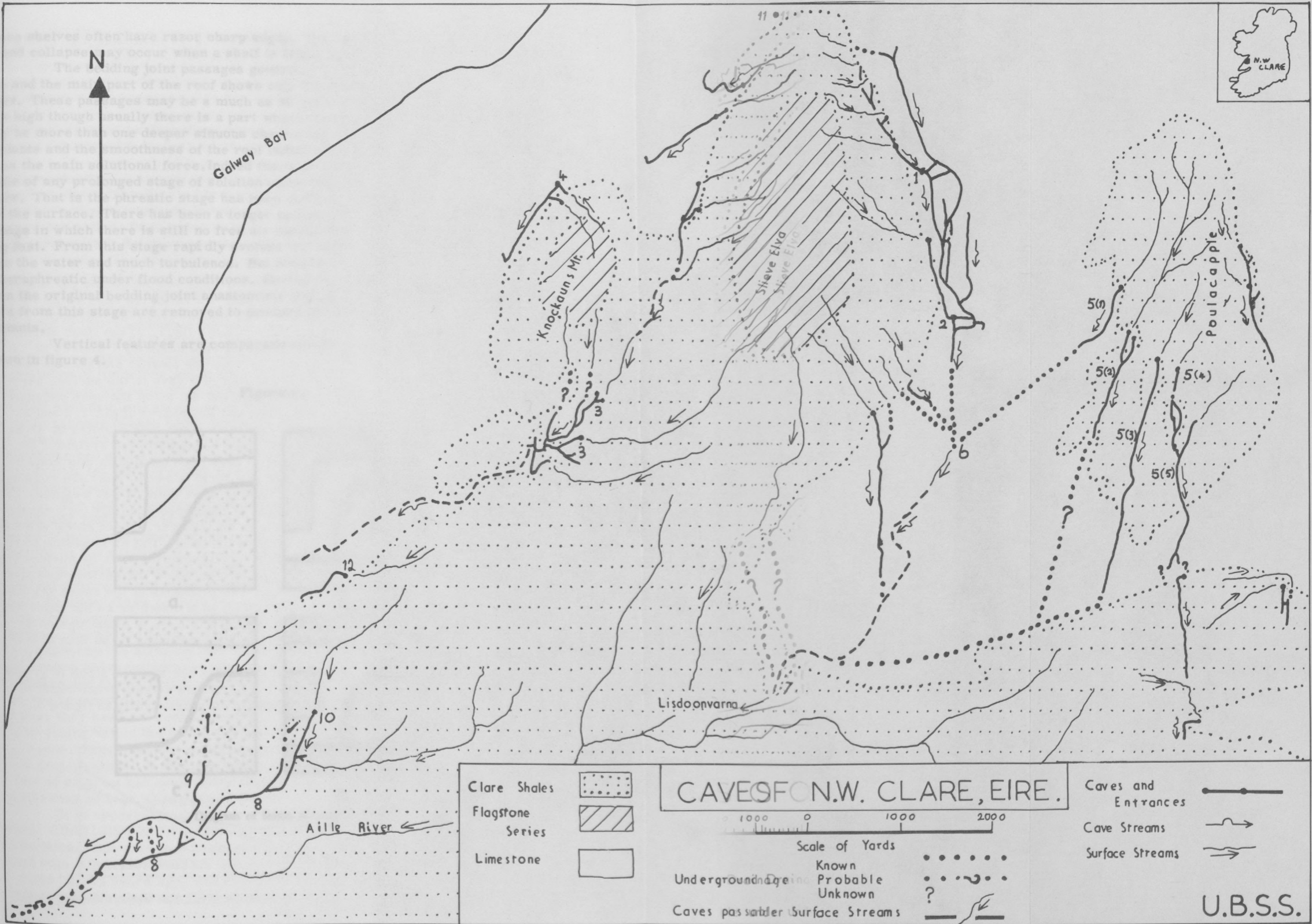


Diagram to illustrate differential solution of limestone beds.







These shelves often have razor sharp edges. Passages become wider by their collapse and collapse may occur when a shelf is trodden on.

The bedding joint passages generally have a very much flattened oval section and the main part of the roof shows only the merest stumps of the original pendants. These passages may be as much as 30 metres wide and as little as 50 centimetres high though usually there is a part where the height is a metre or more. There may be more than one deeper sinuous channel cut into the floor. The stumps of the pendants and the smoothness of the roof indicate fast flowing water with little turbulence as the main solutional force. Indeed there is very little evidence in the caves as a whole of any prolonged stage of solution under the water table by very slow moving water. That is the phreatic stage has been short and took place only a little way below the surface. There has been a longer paraphreatic stage, which is here defined as a stage in which there is still no free air surface above the water but the water is moving fast. From this stage rapidly evolves the vadose stage with a free air surface above the water and much turbulence. But even now passages still become intermittently paraphreatic under flood conditions. During the paraphreatic stage the divisions between the original bedding joint anastomosis channels and the pendants that usually remain from this stage are removed to produce the smooth stumps, so often seen, of the pendants.

Vertical features are comparatively few are summarised in the diagrams shown in figure 4.

Figure 4.

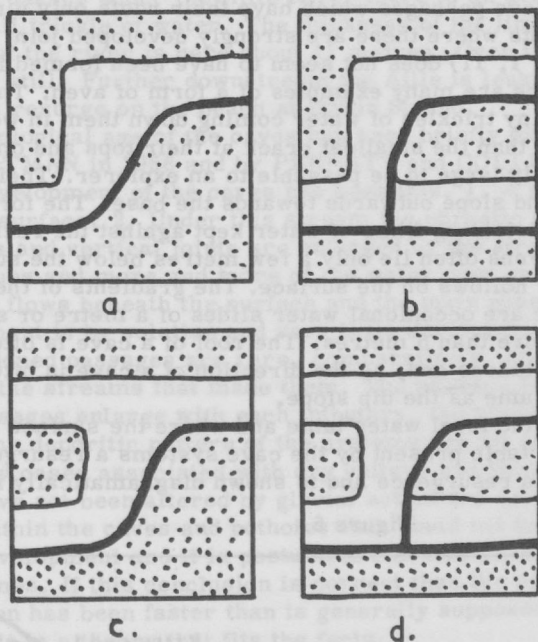


Diagram of forms of vertical features.



They can be grouped as follows:.

- a. Simple descent to a lower bedding joint. There is no continuing high level passage and so this is an original feature of the phreatic stage.
- b. Descent to a lower passage where the upper stream joins a lower stream. There is no continuing high level passage and both passages are contemporary.
- c. Descent to a lower level leaving a dry continuing high level passage. In this case a vadose stream has found a lower route by gradual enlargement by solution of vertical joints and bedding joints.
- d. Connection between an upper and a lower stream leaving a continuing upper dry passage. The two streams have first crossed on different levels and subsequently a connection develops. The two sets of passages may be contemporary or otherwise. In the main they are contemporary and all that has happened is that the original connection downstream has been left dry by a new connection developing upstream.

Nearly all the caves have their roofs only a little way below the surface of the limestone. For example the roof of Cullaun II (fig. 1 5 (2) at the head of the terminal pitch is only 15 metres below the surface at 1200 metres from the entrance. The roof of the Lower Main Drain in the Coolagh River Cave ( fig.1, 3) has open connections to the surface. The Doolin Cave (fig. 1, 8) has its roof scarcely 7 metres below the surface of the limestone at about 3,700 metres from the swallet antrance at the northern end of the system. This proximity of the roof of a cave to the surface seems to have been a major factor in the production of most but not all of the open potholes connected with the caves. Pollnagollum, Poll Elva and Pollnagree (fig.1 1, 2 and 4) are each associated with cave passages which have their roofs only a metre or so below the surface and at points where there are strongly developed joint systems. On the other hand Pollapooka (fig. 1, 11) does not seem to have been formed in this manner.

In the caves there are many examples of a form of aven. They are roughly conical in form and have tiny trickles of water coming down them in wet weather. They rarely have anything more than the smallest crack at their tops and only very rarely indeed a passage sufficiently large to be passable to an explorer. Their sides are fluted in a vertical manner and slope outwards towards the base. The form seems to be the produce of solution by trickling films of water kept against the rock by surface tension. The roofs of these avens often lie only a few metres below the surface and may be associated with marshy hollows on the surface. The gradients of the caves are generally very gentle. These are occasional water slides of a metre or so but there are few vertical descents of more than 5 metres. The roof of a cave is often formed by the same bed over long distances and, as the direction of a cave is often than of the dip, the roof slope is the same as the dip slope.

The caves form the local water table and where the surface slope is greater than the slope of the water table present by the cave systems a resurgence occurs. Killeany ( fig.1,6) is such a resurgence and is shown diagrammatically in figure 5.

Figure 5.

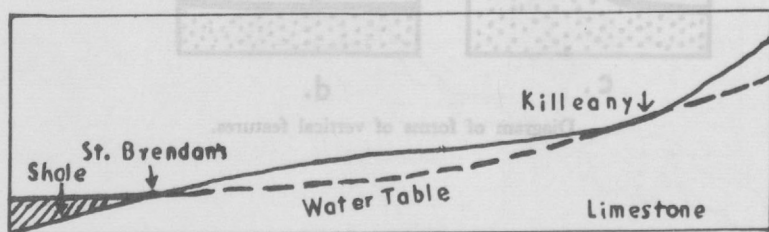


Diagram of resurgences at Killeany and St.Brendan's Well and their relation to the water table.

A little way downstream from Killeany the surface gradient becomes very slight and the waters go underground again only to resurge once more where the surface slope steepens again down to St. Brendan's Well (fig.1,7). But this lower length of cave is poorly developed and under flood conditions the whole of the intermediate cave system fills up and there is a surface river from Killeany to St. Brendan's Well, and water will also rise as far as 700 metres further north up the valley than Killeany. Under flood conditions the water table in the area may be temporarily raised by as much as 20 metres.

The caves are still occupied by the streams that made them. Flooding is of frequent occurrence. Long lengths of the caves may flood to the roof and yet a day later all can be again passable. In July 1961 there were three days of continuous rain. At the end of this period about 3/4 of the total length of the Coolagh River Cave was flooded to the roof. Shakeholes and swallets connected with the lower part of the cave became temporary risings and water burst up through openings in the roof of the lowest part of the cave. The Doolin Cave system (fig.1,8) was totally flooded for at least the last 2000 metres of its total direct length of 3.800 metres.

This Dollin Cave system merits special attention as it is that great rarity an open cave passing under a surface river, which itself is running on limestone. Its catchment is fairly extensive but only one of the swallets, active or inactive, can be entered, namely St. Catherine's I. (fig1,10). Downstream from the junction with the water from another swallet is a considerable length of fairly low but wide passage with many blocks of limestone which have fallen out of the roof. These blocks have fallen largely because the cave originally developed along two successive bedding joints. Beyond this part are long stretches of canyon passage with an occasional ox-bow. Where the main passage passes under the Aille River there is an aven in the roof and down this comes a small trickle of water. The thickness of the limestone between the cave roof and the bed of the river is here about 11 metres. Over the Aran View Passage (fig.1,9) it is less still. Further downstream the Aille is leaking extensively into the cave. The waters resurge on the beach at Dollin Strand.

The geological age of the caves has been briefly discussed by ACKE in 1955 OLLIER and TRATMAN in 1956 and by PERRATT and COLLINGRIDGE in 1960. The process of the development of the caves has been this. 1. A stream flows across the limestone on the surface. 2. Under this stream the phreatic stage of solution proceeds and bedding joints and vertical joints are enlarged by the streams own waters. 3. Development continues and more and more of the water goes underground. 4. Eventually all the water flows beneath the surface and the main phase of vadose development begins. Development is by solution and very little development can be attributed to corrasion. Abandoned passages are rare, comparatively, and the main passages are still occupied by the streams that made them. The passage forms, the manner in which canyon passages enlarge with each tributary, the closeness of the cave roofs to the surface and the dendritic pattern of the systems are all juvenile features. The caves are in many cases associated with dry valleys and though these are older than the caves they have not been altered by glacial action and contain no glacial fill. There is no filling within the caves and potholes than could not have been brought in during the process of development and it is postulated that this development has taken place in post glacial times. If this conclusion is correct then the caves are younger and the rate of solution has been faster than is generally supposed. But however remarkable this may be it is a theory that fits the facts.

It is necessary, therefore, to define the term "post-glacial" in this connection. CHARLESWORTH (1928) and WRIGHT (1937) have shown that the most recent terminal moraine in Northwest Clare is the "Newer Drift", which has been correlated with Würm II. ZEUNER (1945) has calculated that the maximum of Würm II was about 72,000 years ago, and that the climax of the Scottish re-advance of the ice was about 22,000 years ago, During this last phase the Clare region, which has no

loess, must have been in the tundra belt so that the ground would have been frozen for most of the year and the water would have run off as surface streams, which eroded some of the present dry valleys, which are directly related to the caves. The caves post-date these valleys; thus the date for the beginning of the formation of the caves cannot be earlier than 20,000 years ago and may be considerable later.

PERRATT has considered the specific case of Cullaun III (fig. 1, 5(3)). This is a very simple cave and from the survey it is possible to calculate with a reasonable degree of accuracy the total amount of rock that has been dissolved to form the cave. The catchment area for the main headwaters is known and so is the present day average rainfall. This is between 102-153 cms. per year. The theoretical amount of water needed to dissolve the rock can be calculated. PERRATT has shown that on this basis there has been ample time for the cave to have been formed in post-glacial times if only 60 % of the lowest average present day rainfall went into the cave from the main catchment area, ignoring the minor catchment areas and this water dissolved only 1/4 of the amount of limestone it was theoretically possible to dissolve. It is thought that these arguments on dating are valid for most of the Clare caves dealt with in this paper. It may be applicable to some caves in other areas, but no assertion that it is applicable is made.

But if the caves are post-glacial where are the caves that must have been during the Great Interglacial? Perhaps they are outside the area dealt with. Perhaps they too were shallow caves and were eroded away during the last advance of the ice age. Perhaps they could not form because the area was still covered by impervious shale. Perhaps present day caves have invaded the earlier caves though such invasion of relic caves would be very hard to prove. But one example of a cave deemed to be pre-glacial in date is known, Poll-an-Ionain, (the Cave of the Ivy) (Fig. 1, 12). COL - LINGRIDGE has described this cave. It has a large canyon passage in its first part and this is occupied by a very small stream, which in places has incised its own small channel in the floor of the much larger passage. In two places the canyon passage has had one wall removed and into the gaps are intruded deposits which are clearly boulder clays. It would seem that here is a pre-glacial cave, which had been largely destroyed during the last ice age, to become largely filled with glacial deposits and these in turn are now being removed as to the finer constituents by a process of rejuvenation by a small stream.

A brief account has been given of the caves of Northwest Clare, Eire. It has not been possible to go into details. The principle points made are:

1. Most but not all of the caves have been formed in post-glacial times, that is within the last 20,000 years.
2. The shallow phreatic stage of formation has been of minimal duration, and most of the caves have been formed under vadose conditions.
3. The caves are still occupied by the streams that made them. Their plan is dendritic and their size is directly proportional to the size of their present catchment areas.
4. All the caves are shallow and for long stretches their roofs are only a few metres under the surface of the limestone.
5. The same bed often forms the roof of the passages for long distances.
6. The caves are liable to flooding, when long length of passage fill to the roof with water.

## REFERENCES.

- ACKE P.R., The Cullaun Series of Caves. Proc.Uni. Brist.Spel.Soc. Vol. 7, No.1, 1954, pp.7-12.
- CHARLESWORTH J.K., The Glacial Retreat from Central and Southern Ireland. Quart.J.Geol.Soc.Lond. Vol.84, 1928 pp.293-342.
- COLLINGRIDGE B.R., Poll-an-Ionain. Proc.Uni.Brist.Spel.Soc.Vol.9, No.1, 1960, pp.47-57.
- DOUGLAS J.A., The Carboniferous Limestone of County Clare (Ireland). Quart.J. Geol.Soc.Lond. Vol.65, 1909, pp.538-583.
- HODSON F., The Beds above the Carboniferous Limestone in North-west Clare. Quart.J.Geol.Soc.Lond. Vol.109, 1953, pp.259-283.
- OLLIER C.D. & TRATMAN E.K., The Geomorphology of the Caves of Northwest Clare. Proc.Uni.Brist.Spel.Soc.Vol.7, No.3, 1956, pp.138-158.
- PERRATT B.B., Cullaun III. Co.Clare, Eire. Proc.Uni.Brist.Spel.Soc.Vol.9, No1., 1960, pp.43-46
- WRIGHT W.B., The Quaternary Ice Age. Mac Millan, London 1937.
- ZEUNER F., Dating the Past. Methuen, London 1945. p.145.

## PREMESSA.

Nel riassunto della comunicazione presentata al Congresso del 1960 al termine di fenomeni pseudocarsici le manifestazioni sono state definite, più sviluppate, che si osservano nei calcari grossolani terziari e quaternari conosciuti col nome di tuffi calcarei; lo stesso termine ha anche in altri contesti il significato di qualche anno fa (1).

Al termine della mia comunicazione, brevemente riassunta per risparmiare tempo, in una seduta congressuale della 1<sup>a</sup> Sezione (Speleologia, Paleontologia e Paleogeologia) il collega Prof. H. LEHMANN mi ha cortesemente suggerito di sostituire il termine di pseudocarsismo con un altro che indicasse le mode carstiche il concetto di carsismo ridotto, attenuato, quale si osserva in forme diversamente sviluppati rispetto ai calcari compatti - rocce generalmente di scarsa porosità, di limitata estensione - nei quali non è possibile il pieno sviluppo delle forme carsicizzate in tipiche aree carsiche, in modo particolare quelle delle regioni calcaree.

Per indicare queste manifestazioni ridotte, limitate dell'azione solvente delle meteoriche su rocce permeabili il corso i cosiddetti tuffi calcarei sopra ricordati, alcuni calcari arenacei (2), qualche arenaria calcarea, i conglomerati calcarei, le calcine grossolane dei nostri litorali, propongo il termine di pseudocarsismo. Il prefisso greco ha valore etimologico di vicinanza, attenuazione.

Traspare il concetto di fenomeni paracarsi - delle espressioni di fenomeni tipo carsico e fenomeni analoghi a quelli carsici - nelle definizioni di G. KLOTZ del nostro secolo e delle locuzioni: aree e carriere di calcare, aree pseudocarsiche impiegate da M. GORTANI (3) per indicare le zone di attenuazione e di sviluppo del carsismo in alcune regioni italiane.

(1) Per forme carsiche di superficie e profonde nei calcari terziari, Pleistocenici e Quaternari del Malbosch, Gard, Les Vans, Ardèche etc. in Francia, nelle Grotte di Vaucluse, nel CHAIL (Cavites en terrain non calcaire. Atlas de la Région de la Vallée de la Durance, J. Castellana-Grotte 1962, p.149) hanno adottato il termine di pseudocarsismo, ma non ha chiaramente la natura litologica del terreno in cui si è formato il carsismo. Il termine pseudocarsico, così può essere tradotto in italiano il termine francese, è ancora più impreciso, secondo certi punti di vista e quello del pseudocarsismo.





Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology  
SEKTION I

---

Franco ANELLI

**FENOMENI PARACARSICI NEI CALCARI GROSSOLANI TERZIARI  
E QUATERNARI DELLE MURGE E DEL SALENTO IN PUGLIA**

**PREMESSA.**

Nel riassunto della comunicazione presentata al Congresso ho indicato col termine di fenomeni pseudocarsici le manifestazioni carsiche ridotte, poco sviluppate, che si osservano nei calcari grossolani terziari e quaternari noti nella Puglia col nome di tufi calcarei; lo stesso termine ho usato in una mia pubblicazione di qualche anno fa (1).

Al termine della mia comunicazione, brevemente riassunta per risparmio di tempo, in una seduta congressuale della I<sup>a</sup> Sezione (Speleologia fisica, carsismo e speleologia) il collega Prof. H. LEHMANN mi ha cortesemente suggerito di sostituire il termine di pseudocarsismo con un altro che indicasse in modo conforme il concetto di carsismo ridotto, attenuato, quale si osserva in rocce diversamente solubili rispetto ai calcari compatti - rocce generalmente di scarsa potenza, di limitata estensione - nelle quali non è possibile il pieno sviluppo delle forme caratterizzanti le tipiche aree carsiche, in modo particolari quelle delle regioni calcaree.

Per indicare queste manifestazioni ridotte, limitate dell'azione solvente delle acque meteoriche su rocce permeabili come i cosiddetti tufi calcarei sopra ricordati, alcuni calcari arenacei <sup>1)</sup>, qualche arenaria calcarea, i conglomerati calcarei, le panchine grossolane dei nostri litorali, proporrei il termine di paracarsismo, in cui il prefisso greco ha valore etimologico di vicinanza, attenuazione.

Traspare il concetto di fenomeni paracarsici dalle espressioni di: fenomeni di tipo carsico e fenomeni analoghi a quelli carsici usate da A. LORENZI (2) al principio del nostro secolo e dalle locuzioni: aree a carsicità mediocre, zone debolmente carsiche, regioni semicarsiche impiegate da M. GORTANI (3) per indicare il basso grado d'intensità e di sviluppo del carsismo in alcune regioni italiane.

---

1) Per forme carsiche di superficie e profonde nei terreni arenacei triassici e liassici del Molbosch, Gard, Les Vans, Ardèche etc. in Francia, BOUCHET, MARTIN et MICHEL (Cavités en terrain non calcaire. Actes du II<sup>ème</sup> Congrès Internat. de Spéléol., T. I, Castellana-Grotte 1962, p. 149) hanno adoperato il termine di karst gréseux che esprime chiaramente la natura litologica del terreno in cui si è svolto il fenomeno. Il carso arenaceo, ce così può essere tradotto in italiano il termine francese, è analogo, ossequiano gli AA., secondo certi punti di vista a quello del calcare.

Siamo sempre nel quadro morfologico delle complesse azioni combinate di corrosione e di erosione (in molto minor grado queste ultime) delle acque meteoriche su rocce con diverso grado di solubilità nelle acque meteoriche che regola lo svolgimento del carsismo secondo il noto ciclo di sviluppo risalendo dalle forme presenti a quelle iniziali, beninteso là dove ne sono ancora riconoscibili le tracce.

Al diverso grado di solubilità delle rocce si associano evidentemente le condizioni di giacitura, il tipo e l'intensità della fratturazione, il tipo e il carattere della stratificazione, la potenza di un complesso roccioso e soprattutto la durata dell'esposizione agli agenti meteorici subaerei.

Sono da escludere quindi dalle manifestazioni paracarsiche tutte le forme la cui origine e il cui sviluppo prescindono interamente dall'azione solvente delle acque meteoriche. Per limitarci al campo delle forme sotterranee, sono da escludere, ad esempio, i vani di frattura in rocce eruttive o metamorfiche, le bollosità nelle lave vulcaniche, le cosiddette grotte di scolamento lavico, le cavernosità molto irregolari in rocce lacunose, come gli ammassi travertinosi, le scogliere coralline, e quelle meno comuni negli accumuli di frana, nei depositi di valanga.

Si escludono ancora le grotte di erosione idrica, come gli antri costieri marini, le cavità lacustri e fluviali.

Per tutti i processi dai quali hanno origine le ricordate manifestazioni può a rigore essere conservato il termine di pseudocarsismo e quelle di fenomeni pseudocarsici<sup>2)</sup> valevoli per indicare forme sotterranee non direttamente originate dall'azione solvente delle acque meteoriche. Qualche difficoltà d'interpretazione può sorgere per alcune forme di superficie e profonde (cavità sotterranee generalmente poco estese) alla cui origine partecipa più o meno largamente l'alterazione fisica, la disgregazione della roccia compiuta sia dagli agenti della degradazione meteorica esogena (le oscillazioni termiche, il gelo e disgelo delle acque d'infiltrazione, la deflazione eolica ecc.) sia l'alterazione chimica o disfacimento delle rocce (l'azione idratante dell'acqua su rocce selenitose, la scissione idrolitica dell'acqua sui minerali silicatici componenti di rocce eruttive).

L'argomento s'innesta sull'importante tema della speleogenesi - e dei fenomeni carsici in generale - nei terreni non calcarei, né gessosi; poca importanza hanno in Italia le ristrette aree saline del Volterrano e quelle della Sicilia.

## LE AREE CARSICHE E PARACARSICHE PUGLIESI.

La Puglia è la regione dell'Italia meridionale compresa fra il corso inferiore del F. Fortore e il Capo di S. Maria di Leuca, separata dalla dorsale appenninica meridionale dalla cosiddetta Fossa Bradanica, il solco vallivo del Fiume Bradano e del Basiuntello. È stata qualche volta indicata col nome di Antiappennino o Preappennino.

Fanno parte della Puglia tre distinte aree o zone costituite da tavolati calcarei con morfologia spiccatamente carsica:

il Monte Gargano a Nord, una potente pila di banchi calcarei e calcareo-dolomitici del Cretaceo superiore culminate a 1056 m. sul l.m.m.;

le Murge, la parte centrale della Puglia compresa fra il basso F. Ofanto e la depressione Messapica o Piano di Lecce; costituiscono un altopiano quadrilatero che raggiunge a Torre Disperata la quota massima di m. 686 sul mare.

il Salento o Penisola Salentina, protesa nel Mare Jonio, à la parte più meridionale della Puglia, formante un basso tavolato calcareo che alla Serra dei Cianci segna la quota massima di 201 m.

<sup>2)</sup> Secondo W.R. HALLIDAY (pseudokarst in the United States. Bull. of the Nat. Spel. Soc., vol. XXII, part 2) il termine risalirebbe all'italiano G.B. FLORIDA (un particolare fenomeno pseudocarsico manifestato da alcune argille. Boll. Soc. Sc. Nat. Econom. Palermo, 1941, p. 23). Ma ancor prima del FLORIDA, osserva l'Autore, il termine sarebbe stato usato dal geologo H. CRAMER in uno studio inedito del 1936 sul carsismo delle isole britanniche.



Fig. 1

Superficie carsica del suolo calcareo tufacei pliocenico presso Torre Castiglione lungo il litorale ionico di Gallipoli.

Foto dell' Autore.



Fig. 2. Superficie carsica nei calcari tufacei in contrada Masseria dei Pozzi presso Avetrana (Salento meridionale)



Fig. 3. Piccole caverne d'interstrato nei tufi calcarei di Ostuni presso Brindisi (Murge Sud-orientali)



Fig. 4. Grotta-inghiottitoio nei tufi calcarei presso Surano  
a) nella stagione estiva b) nell'autunno dell'anno 1957.



Fig. 5.

Inghiottitoio nei tufi calcarei pliocenici presso Surano nell'autunno piovoso del 1957. Estese depressioni sono rimaste allagate per un lungo periodo di tempo.

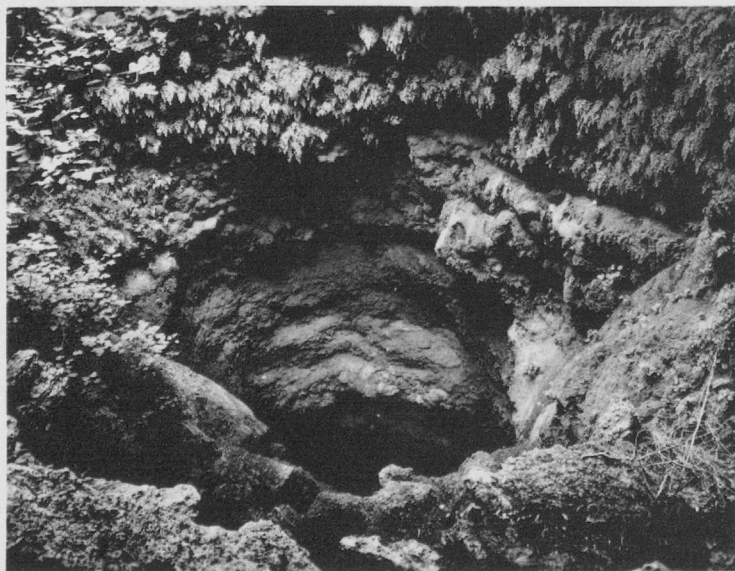


Fig. 6.

Piccola voragine-inghiottitoio nei tufi di Cutrofiano (Salento meridionale).





Fig. 7.

Piccola v o r a inghiottitoio nei calcari tufacei presso Avetrana nel Salento.

Foto G. TOMAI.



Fig. 8.

Voragine craterica di Corigliano d'Otranto.

Foto dell' Autore.





Fig. 9

Estesa demolizione con sedimento della volta nella volta della grotta-sorgente presso il Ponte di Santa Teresa fra Porto Cesareo e Torre Calimena sul litorale ionico di Gallipoli.

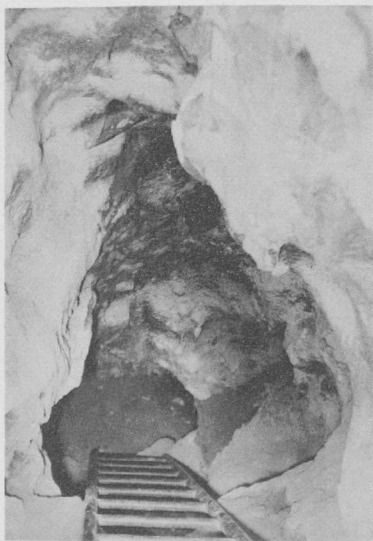


Fig. 10

Profilo idromorfo della piccola cavità a pozzo S. Giorgio presso Massafra nei calcari tufacei pliocenici.

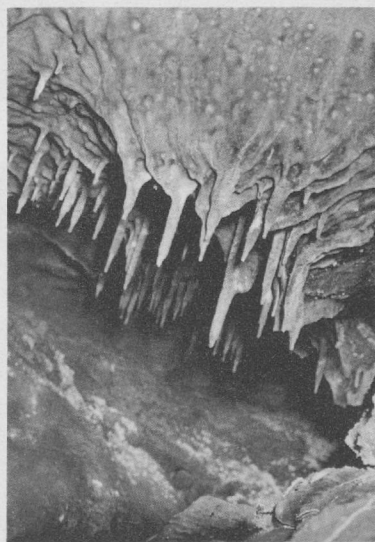


Fig. 11

Concrezioni calcaree stalattitiche al fondo della cavità a pozzo S. Giorgio. Foto Mariano.

Interessano il presente contributo l'altopiano delle Murge e il basso tavolato del Salento formanti nel loro insieme un'unica zolla calcarea riferita essenzialmente al Cretaceo medio-superiore (salvo piccoli lembi calcarei plaeogenici sulla costa d'Otranto) solcata da estese fratture longitudinali con direzione assiale Nord Est-Sud Ovest e da fratture trasversali minori.

Sui calcari compatti, chiari biancastri del Cretaceo (con scarse dolomie grigie) costituenti la base, di più antica età geologica, delle Murge e del Salento, si stendono lembi discontinui di terreni sedimentari calcarei grossolani e argillosi terziari e quaternari testimoni di un più esteso manto tresgressivo che la progrediente denudazione esogena ha smembrato riducendolo a placche isolate colmanti antiche depressioni o ricoprenti estese spianate della sottostante impalcatura calcarea mesozoica già modellata da precoci azioni degradatrici esterne.

Se è nota - nelle sue linee generali qua e là anche e nei dettagli - la caratteristica morfologica tipicamente carsica di questa impalcatura calcarea del Cretaceo nelle estesissime aree da tempo denudate e tuttora esposte all'azione delle acque dilavanti e penetranti, sono invece scarsamente conosciuti i lineamenti morfologici principali del manto discontinuo dei ricordati terreni terziari e quaternari soggetti all'erosione di superficie.

I primi, i terreni terziari, comprendono calcari d'origine marina riferiti al Miocene inferiore (Langhiano) e al Miocene medio (Elveziano) di facile estrazione e di ancora più facile lavorabilità, noti localmente col nome di Pietra Leccese, non di rado riccamente fossiliferi fino a costituire veri calcari organogeni, come si osserva in non pochi affioramenti lungo la penisola salentina da Lecce all'estremo Capo di S. Maria di Leuca con lembi isolati prossimi al litorale adriatico di Otranto e lungo il litorale jonico di Gallipoli nel vasto golfo di Taranto.

Hanno maggiore importanza i terreni pliocenici trattandosi di formazioni molto estese in tutta la Puglia, ricoprenti i ricordati terreni miocenici e quelli del Cretaceo sui quali rappresentano, come ho già accennato, gli ultimi testimoni di una vasta coltre trasgressiva intensamente smantellata. Le conoscenze geologiche della regione (4) riconoscono nei depositi pliocenici diversi tipi litologici; partendo dai livelli superiori si osserva la seguente successione stratigrafica:

- a) sabbie ghiaiose e conglomerati
- b) sabbie gialle e argille sabbiose
- c) marne, argille marnose turchine e giallastre
- d) tufi calcarei arenacei

Per le ricerche oggetto della presente comunicazione hanno importanza i soli tufi calcarei arenacei, specialmente i lembi sparsi sulle Murge e sul Salento dove rappresentano i depositi accumulati da un'attiva sedimentazione marina in canali poco profondi fra isole e scogli.

La diversa struttura e compattezza di questi calcari grossolani ha dato origine a una classificazione in varietà ben distinte, indicate localmente coi nomi di: tufo gentile, zuppigno, scorzo, mazzaro, ecc.

Senza un limite netto si passa dai terreni pliocenici a quelli soprastanti del Quaternario aventi anch'essi il carattere di calcari grossolani, sabbiosi, giallo rossastri, noti nella Puglia meridionale col nome di carparo e nei quali si riconoscono talora i caratteri di una vera panchina. Per la loro posizione stratigrafica e per i caratteri paleontologici sono riferiti al Calabriano; la roccia, sempre di natura calcarea grossolana, ha però maggiore compattezza e maggiore resistenza.

E' sui ricordati terreni di natura calcarea grossolana terziari e quaternari, aventi comuni caratteri litologici <sup>3)</sup> che le acque meteoriche dilavanti hanno scolpito

<sup>3)</sup> Il riferimento stratigrafico è affidato essenzialmente ai caratteri faunistici.

particolari forme di superficie, mentre le acque penetranti hanno scavato, con lenta azione solvente - favorita dalla grana grossolana della roccia attraversata - forme sotterranee con una inconfondibile configurazione anche se di limitato sviluppo.

Tutte le forme di superficie, quanto le profonde pur richiamando, specialmente le prime, le forme carsiche dei calcari compatti mesozoici e cenozoici (paleogenici) presentano un quadro morfologico tale da poter essere considerate come forme a sè da indicare col nome di paracarsiche nel senso illustrato nella premessa introduttiva di questa nota.

Le forme di superficie più diffuse in questi terreni sono le depressioni chiuse, a contorno subcircolare, vere e proprie doline a piatto, più raramente le doline cosiddette a scodella, alcune con asse longitudinale relativamente esteso da raggiungere l'aspetto di vallecicole chiuse con inghiottitoio nell'area più depressa. Considero forme di passaggio a quelle sotterranee le cavità di sprofondamento originate in superficie dal sedimento della volta di cavità sotterranee di suberosione.

Non mancano, cavità sotterranee temporaneamente attive percorribili per breve tratto nei lunghi periodi delle magre estive.

Le forme carsiche di superficie comprendono estese zone pianeggianti rocciose, nude con sfioracchiature, solchi e spuntini irregolari (fig. 1, 2).

Illustro in questa comunicazione alcune forme salienti di due sole regioni della Puglia: le Matine di Bitonto nelle Murge e il meridionale versante (jonico) della Penisola Salentina.

## FENOMENI PARACARSICI DELLE MATINE DI BITONTO NELLE MURGE NORD - OCCIDENTALI.

Coi termini di *matine*<sup>4)</sup> e *mattine* (derivati dall'antica voce *apula* *matinus*) sono indicate nel territorio di Bitonto, a una ventina di chilometri ad occidente di Bari, e in qualche altra località dell'altopiano delle Murge, nel Salento e in Calabria, caratteristici dossi rocciosi o le falde di un altura.

Nel territorio delle *matine* di Bitonto affiorano largamente i calcari compatti del Cretaceo ai quali è sovrapposta una ristretta fascia di terreni calcarei grossolani tufacei, con placche di argille e sabbioni calcarei.

Nei calcari mesozoici sono scavate poche depressioni doliniformi, come il Pulicchio di Toritto, e alcune cavità sotterranee, queste ultime si osservano lungo i versanti di un antico solco di erosione torrentizia, detto localmente la Lama di Macina, e rappresentano gli sbocchi di un'estinta canalizzazione carsica sotterranea. Cavità analoghe si aprono lungo altri estesi solchi di erosione che incidono l'altopiano delle Murge.

Interessano questo capitolo alcune forme di erosione carsica di limitato sviluppo e alcune manifestazioni di un'idrografia sotterranea poco profonda.

Le cavità sotterranee esaminate sono complessivamente una quindicina<sup>5)</sup> e

4) Col termine di *matina* si accompagna il diminutivo di *matinella*, ad es. la *Matinella delle Monache*, poco lontana. Più raramente, ed erroneamente, il termine *matina* indica una depressione carsica chiusa, un'ampia dolina col fondo coperto da terra rossa eluviale.

5) Dò l'elenco delle cavità visitate nel territorio di Bitonto: Grotte di Torrerosa, presso S. Gaetano, Cavernetta di Buquicchio vicina all'edificio delle Scuole elementari, Grotticella del Fico, nel Parco chiuso Matera, Cavernetta del mandorlo a 300 m dalle precedenti (ampliata dall'uomo per ricavarne un ovile), la Grotta dei gradini, non lontano dalle precedenti (anche questa è stata sistemata ad ovile), Piccolo antro delle graminacee, sulla strada del Bosco Marinelli, Grotta grande dei pipistrelli, vicino alle precedenti, è la

sono costituite per lo più da un unico antro, raramente con qualche diramazione laterale. Appartengono al tipo delle grotte di interstrato, sono scavate cioè nello spessore di uno o di più banchi rocciosi di calcare grossolano tufaceo. La loro configurazione per lo più regolare può far pensare a cavità artificiali, in alcune di esse sono evidenti infatti tracce di lavori di ampliamento dell'ingresso per ricavarne comodi ricoveri alle pecore nella stagione del pascolo o per farne dimora temporanea dell'uomo. Ma l'aprirsi nell'interno di cunicoli angusti, sovente inaccessibili all'uomo, la configurazione irregolare di alcune delle cavità esplorate ne rivelano la certa origine naturale dovuta a processi di suberosione seguiti da distacchi e da scoscendimenti interni più estesi, in corrispondenza di banchi rocciosi tufacei meno resistenti, facile preda all'azione solvente delle acque di lentissima penetrazione sotterranea poco profonda e alla disgregazione delle pareti e della volta.

Accanto alle piccole cavità descritte meritano d'essere segnalate alcune manifestazioni di un'idrografia sotterranea poco profonda che chiamerei anch'essa paracarsica,<sup>6)</sup> si tratta di due piccole sorgenti cosidette d'emergenza e di un'estesa area sorgentizia al fondo di una lieve depressione del suolo, non lontana dall'abitato di Bitonto, detta localmente la marana<sup>7)</sup> per l'aspetto acquitrinoso del territorio che ha intersecato una sottile falda acquifera poco profonda compresa fra i calcari tufacei e un sottostante letto di argille giallo-turchine.

#### FENOMENI PARACARSICI DELLA PENISOLA SALENTINA VERSANTE JONICO.

Piccole cavità verticali a pareti molto irregolari si osservano frequentemente sui fronti di attacco delle cave dei calcari tufacei del Leccese, a Novoli, a Galatani e altrove. Alcune di esse, i cosidetti totari della parlata locale (5) sono state successivamente colmate da materiale terrigeno e ciottoloso di dilavamento superficiale; in altre si sono accumulati, con analogo processo di fluitazione dall'esterno, ingenti resti della fauna diluviale come nella demolita Grotta di Cardamone che raggiungeva la profondità di una ventina di metri (6): il deposito ossifero di riempimento ha restituito avanzi della seguenti specie: Elephas primigenius, Rhinoceros megarhinus, Equus caballus, Hyaena, Felis silvestris, Vulpes vulpes, Lupus lupus, Canis sp. Bison priscus, Bos primigenius ecc.

In una cavernetta analoga, di minori dimensioni, venuta alla luce pochi anni fa ad Aradeo presso Galatina, gli scavi in corso hanno riconosciuto fra i resti fossili: Lupus, Vulpes, Sus, Bos (vel Bison), Cervus elaphus, sono affiorati abbondanti resti ossei bruciati, anneriti da combustione, altri spaccati con atto intenzionale, e alcune piccole selci atipiche.

più vasta di tutte misurando una lunghezza di una quindicina di metri, Cavernetta Cipriani presso Montefreddo in località Pezza di S. Francesco, modificata, intonacata internamente per farne una dimora sotterranea, Grotte Gemelle, presso la Torre dei Briganti. Accanto alla caverne elencate sono note alle persone del luogo altre piccole cavità, tre delle quali detti buchi, sono originati dallo sprofondamento della volta di preesistenti cavernosità sotterranee, esse sono: il Buco Lavascio, la Buca di S. Eugenio e il Buco Volpacchio.

6) E. K. TRATMAN ha suggerito il termine paraphreatic per indicare le acque in movimento a un livello di poco inferiore alla superficie idrostatica (A nameless Stream: Suggested New Term. Cave Res. Group Great Britain, Newsletter, N. 68 9, p. 6, 1957. JENNINGS J. N., The Limestone geomorphology of the Nullarbor Plain (Australia). Actes Deuxième Congr. Internat. Spéléol., Tom I., p. 383, Castellana-Grotte 1962.

7) E' evidente la comune etimologia di questo termine locale pugliese col francese marais = palude, pantano.



Numerose Cavità verticali sono inghiottitoi attivi delle acque superficiali nei periodi di massima piovosità (fig. 4, 5), sono noti localmente col nome di *capoventi* o *vore* (fig. 6), più raramente di *grave* (termine comunemente usato invece nelle Murge e nel Gargano per le voragini naturali di una certa ampiezza e profondità). Ricordo la Vora Nfogamonaci, la Spedicatura di Acquarica. Alcune di esse sono state ampliate per favorire il deflusso delle acque nella stagione delle maggiori precipitazioni, come il *Vojuru* presso Montesano.

In alcune grotte il deposito argilloso di decantazione delle acque di lenta circolazione ha consentito il raccogliersi di acque in bacini stagnanti come nella Grotta del lago di Novoli, a pianta subcircolare, del diametro, di 25 m, profonda 7 m venuta improvvisamente alla luce per il distacco della volta di una contigua caverna.

A Corigliano d'Otranto, a 30 Km a Sud di Novoli, si è formata improvvisamente nell'autunno piovoso del 1956, una cavità craterica profonda pochi metri (fig. 8), ma con ampio diametro esterno in seguito allo sprofondamento della volta di una grotticella di suberosione. Un più vistoso fenomeno si è manifestato presso Montesano, nello stesso piovosissimo autunno del 1956: un sordo boato durante la notte accompagnò lo sprofondamento di una vasta caverna trasformata subito in una cavità assorbente. L'aprirsi in un secondo tempo di più facili vie di deflusso alle acque e opere di ampliamento, misero fine, dopo parecchio tempo, all'allagamento di estesi territori coltivati.

Importanti fenomeni di suberosione paracarsica in calcari grossolani del Pliocene si osservano lungo il litorale del Jonio non lontano da Gallipoli: fra Porto Cesareo e Torre Calimena presso il Ponte di S. Teresa le acque leggermente salmastre di una sorgente a 200 m dalla costa defluiscono al mare incanalate in un alveo roccioso irregolare rappresentante l'originario fondo di una cavità sotterranea idrologicamente attiva demolita dal cedimento della volta assottigliata dall'erosione e dalla corrosione sotterranee (fig. 9). Seguendo verso l'interno l'asse longitudinale della cavità sprofondata - lungo il presumibile percorso del canale di deflusso sotterraneo della manifestazione sorgentizia - si incontrano tre ampie cavità di suberosione che raggiungono la falda idrica a breve distanze dal punto di affioramento. Sono di origine recente, la più lontana si è aperta pochi anni fa.

E' evidente nelle forme descritte la celerità dei processi di suberosione nelle rocce calcaree grossolane, facile preda alla dissoluzione delle acque sotterranee debolmente salmastre in libero deflusso al mare.

Il quadro delle forme paracarsiche di superficie dei calcari grossolani tufacei del Salento comprende come ho già ricordato estese zone pianeggianti rocciose, nude, con sfioracchiature e puntoni che si accostano alle aride lande carsiche dei terreni calcarei compatti.

Sono frequenti in alcune aree del Salento meridionale, come nelle vicinanze di Erchie, a una quindicina di chilometri a Nord dalla costa ionica, ampie depressioni, a contorno accentuatamente ellittico, col diametro maggiore di oltre cento metri; sono autentiche doline a piatto, in alcune delle quali si apre una grotta - inghiottitoio, detta la Grotta Lucerna.

## L'IDROLOGIA SOTTERRANEA PARACARSICA.

L'idrologia sotterranea dei terreni calcarei grossolani è relativamente semplice; essa si compie con lento movimento come nei terreni permeabili per porosità, nei terreni clastici in generale, favorita da microfessure (non sempre facilmente riconoscibili all'osservazione diretta) da qualche diaclasi più ampia. Gli strati argillosi, intercalati nei tufi calcarei, costituiscono minuscole falde freatiche alle quali attingeva la popolazione prima che fosse costruita la grandiosa opera dell'Acquedotto Pugliese.



E' di tarda età romana la condotta d' acqua del Triglio che alimentava la città di Taranto attingendo l'acqua dai terreni calcareo-tufacei plio-pleistocenici mediante gallerie filtranti alla testata della Gravina di Leucaspide.

Deve il suo nome al ricordo di Plinio (7), che lo giudico meraviglioso, il Fonte Pliniano di Manduria, al fondo di una cavità naturale, a pianta subcircolare, ampliata artificialmente: le acque sono alimentate da una sottile falda idrica alla base della formazione calcareo-tufacea al contatto con un sottile strato argilloso impermeabile.

Una sorgente dello stesso tipo è la Fontana di Canne, nella storica località archeologica sulla destra dell'Ofanto, dove l'acqua sgorga dal mezzo permeabile a pochi metri dalla superficie. Si tratta, in entrambe le sorgenti, di acque con elevato grado di durezza determinato dalla porosità della roccia calcarea grossolana costituente il mezzo acquifero.

Dell'alto grado di durezza delle acque circolanti nei terreni calcarei tufacei è prova la ricchezza delle concrezioni calcaree ricoprenti talora la volta e le pareti, il suolo stesso, delle cavità naturali, anche di piccole dimensioni, che si incontrano casualmente in occasione di scavi artificiali (fig. 10, 11).

## RIASSUNTO E CONCLUSIONI.

I pochi esempi illustrati delle manifestazioni paracarsiche pugliesi, delle Murge e del Salento, consentono alcune considerazioni generali sullo svolgimento dei processi di genesi delle forme descritte alle quali se ne potrebbero aggiungere ancora molte.

I terreni in cui sono state osservate le manifestazioni salienti si limitano nelle Murge ai calcari grossolani tufacei organogeni che lasciano alla base l'altopiano o che lo ricoprono con lembi isolati, stratificamente riferiti al Pliocene e al Quaternario; il graduale passaggio dall'uno all'altro dei sedimenti non consente di indicare un limite sicuro di separazione per l'identità di facies con la quale si mostrano nella regione considerata; come ho già brevemente accennato, si tratta di lentissimi mutamenti conseguenti al mutare delle condizioni di sedimentazione, per variazioni di profondità dei bacini marini.

Nel Salento le manifestazioni paracarsiche non si limitano ai terreni plio-pleistocenici, sono diffusi nei calcari teneri, quasi farinosi del Miocene (Langhiano ed Elveziano).

L'azione delle acque sui terreni a trama grossolana si è compiuta per lenta infiltrazione dall'esterno grazie alla permeabilità per porosità della roccia tufacea nella quale si può costituire una libera canalizzazione come si è osservato lungo la costa jonica di Gallipoli. La intercalazione di strati argillosi riduce la permeabilità del mezzo poroso costituendo talora locali livelli acquiferi di scarsa importanza pratica.

A favorire la penetrazione delle acque contribuisce la non trascurabile irregolare fessurazione della roccia alla quale è connessa la canalizzazione sotterranea paracarsica.

Le cavità naturali illustrate sono tutte di modeste dimensioni, in esse è possibile tuttavia riconoscere distintamente i caratteri generali delle forme carsiche maggiori tipiche dei terreni calcarei compatti e dei gessi; analoghe sono le condizioni idrologiche delle cavità temporaneamente o perennemente attive, sia che esse rappresentino cavità assorbenti, sia che costituiscano lo sbocco di una canalizzazione sotterranea. La profondità alla quale si spinge questa canalizzazione paracarsica è molto limitata trovandosi il livello di base di poco inferiore alla superficie dell'erosione esogena, rappresentata da spianate calcaree debolmente ondulate o suborizzontali, di sollevamento relativamente recente (Quaternario).

Il breve ciclo del processo di genesi delle forme paracarsiche considerate è di facile ricostruzione attraverso il profilo delle cavità: si parte, anche in questi terreni calcarei grossolani, dalla lenta penetrazione delle acque nelle masse rocciose emerse, favorita da fenditure, da soluzioni di continuità minori, giunti di strato ecc., si costituisce dapprima una circolazione prevalentemente verticale per giungere subito dopo ad un lento defluire sotterraneo, quasi laminare, delle acque alla base delle masse calcaree fino al loro sbocco, talora localizzato, come sulla costa ionica presso Gallipoli, in cavità naturali per brevissimo tratto aperte all'esterno.

La solubilità della roccia è evidentemente favorita dalla grossolana porosità della roccia dalla quale deriva l'aspetto molto irregolare delle cavità. Il ciclo di evoluzione del carsimo in tali condizioni si arresta in una fase che potremmo chiamare di precoce maturità: ai processi di erosione seguono a breve distanza, demolizioni interne di tipo clastico, di tipo graviclastico per seguire la classificazione proposta dal MONTORIOL POUS (8) e dal LLOPIS LLADO (9). In qualche cavità sotterranea il breve ciclo carsico si chiude con processi litogenici con la deposizione di concrezioni calcaree incrostanti sotto la volta, e le pareti, con sparsi crostoni stagmitici sul pavimento delle cavità, sui depositi di riempimento della demolizione clastica interna.

#### BIBLIOGRAFIA.

1. ANELLI F., Nomenclatura italiana dei fenomeni carsici. Le Grotte d'Italia S.3, II Castellana-Grotte, 1957-1958, p.7
2. LORENZI A., Fenomeni analoghi a quelli carsici nei conglomerati messiniani di Ragogna e Susans nel Friuli. In Alto, XIII, Udine, 1902, p.69-70.
3. GORTANI M., Per lo studio idrologico e morfologico delle regioni carsiche e semi-carsiche italiane. Atti I Congr. Speleol. Nazion. Trieste, 1933 p. 109-115.  
GORTANI M., Per lo studio delle aree carsiche italiane. Atti XIII Congr. Geografico Ital. Udine, 1937 e Le Grotte d'Italia, S.2<sup>a</sup>, III, Trieste 1938, p.108.
4. D'ERASMO G., Bibliografia geologica d'Italia. Vol V., Puglia, Cons. Naz. Ricerche, Napoli 1959, p. XIV.
5. ANELLI F., Loc.cit. p.9.
6. BOTTI U., La grotte ossifera di Cardamone in Terra d'Otranto. Boll. Soc. Geol. Ital., 9, Roma 1890, pp. 689 - 716.
7. CAIUS PLINIUS SECONDUS (Como, 23-79 d.C.), Naturalis historiae, Lib. II, cap. 106.
8. MONTORIOL POUS J., Los procesos clásticos hipogeos. Rassegna Spel. Ital., III, 4, Como 1951, p. 119.
9. LLOPIS LLADO N., Sobre algunos principios fundamentales de morfología e hidrología carstica. Speleon, III, 1-2, Oviedo 1952.

Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology

SEKTION I

Ivo BAUČIĆ

THE PRINCIPAL PHASES IN THE DEVELOPMENT OF CAVITIES  
IN THE DINARIC KARST

The Dinaric mountains, a massif stretching through the central part of Yugoslavia to a length of about 600 km, and in breadth up to 200 km covers more than a third of the country's total area. Although this wide mountainous district joins the Alps in the north-west and the Sara-Pind mountain range in the south-east, it is bordered on the sides by the Adriatic basin and the Panonic Plain. Owing to a large extent to its central position and specific features, this massif is of special importance to Yugoslavia.

The Dinaric Mountains are primarily marked by their structure. They are almost completely built of carboniferous rock and owing to the great proportion of karst formation the Dinarides must be considered as synonymous of karst. Among the various karst formations, subterranean cavities are certainly the most interesting and deserve special attention. The results of recent speleologic explorations have increasingly shown that this mountain massif is resembling a "sponge". The pores of this sponge have so far been explored only to a negligible extent, but what has so far been known of these cavities in the Dinaric karst points to their great scientific and economic importance.

Usually it is considered that the only rule to be applied to the karst is that there is no regularity of form. Depending on the position, shape and dimensions as well as on the geological, petrographic, hydrographic and meteorological qualities of the fissure from which by corrosion a subterranean cavity has developed each cavity has its special course of evolution. That is why we cannot find two identical cavities anywhere. It is the object of this paper to discuss the main stages of the development of these cavities in the Dinaric karst and to determine the periods to which they belong by a reconstruction of the development of a great number of cavities and by comparing them with the already known development of the surface relief, and the general conditions, prevailing on the surface in individual periods.

The Dinaric karst massif is chiefly built of limestone and dolomites of the mesozoic period. Eocene limestone does not appear over a wide area, and is mainly restricted to the Adriatic coast. The greatest proportion of the structure consists of pure chalk limestone with very few other additions.

The Dinarides have been raised by the "Alpine orogenic cycle" the first traces of which we can still find in the Trias (Dalmatia, Montenegro). It is this movement as well as those at the end of the Yura ("neo-chimeric phase") and at the end of the Chalk period ("laramic orogeny"), that have chiefly raised the Dinarides from the sea, but it still was not affected to any considerable extent. It is only in the course of the so-called "Sava phase", during oligocene that the Dinarides were finally raised, which was accompanied by a strong folding, splitting and breaking of limestone strata. One of the essential characteristics specific to the Dinaric karst is the great number of fissures intersecting its strata.

Since fissures form the basic condition for the development of subterranean cavities in the karst, we may conclude that such a condition has existed in the Dinaric karst since the beginning of the Miocene.

The development of the cavities since the beginning of the Miocene has been primarily the result of changing external factors, because the geological conditions have since not changed essentially.

Immediately after the rise and folding of the Dinarides i.e. in the early Miocene, waters from the precipitations penetrated directly into the rock through the fissures and widened them by corrosion. Thus began the development of cavities.

Depending on hydrographic conditions some of the cavities widened more quickly and others more slowly, while most of the fissures did not widen at all, for they were not exposed to the action of water. On its way into the inner strata the water uses in the first place vertical fissures and as a result vertical cavities are the first to develop.

The folding of the Dinarides caused in places the emergence of separate relief depressions, which during the Miocene and the lower Pliocene were partially or completely filled by impermeable lake sediments (marl, sandstone, clay). In several places one can see that these Neogenic sediments have covered the already developed karst relief and blocked the already developed vertical cavities in the depressions.

Neogenic lake sediments provide a new condition for the development of cavities in the lower regions which can be reached by water now flowing over the impermeable material blocking the vertical fissures and passing laterally into new, horizontal fissures, widening these through corrosive action.

The long tectonic and climatic stability during the upper Pliocene provided specific conditions for a further development of cavities. This is the period during which in the area of the Dinarids an extensive levelling of limestone took place in the area exposed to the deposition of impermeable sediments from neogenic lake basins. The beginning of this levelling process was connected with the process of the surface filling of fissures and cavities with deposited material which caused a lateral corrosive action and a widening of the peneplain.

At the time all the cavities in the levelled area were filled partially or completely with deposit, while only those cavities remained open which had the function of marginal swallow-holes.

During the period of pliocene stability there were special conditions for the development of cavities in other areas as well. At that time a layer of loose soil ("Terre rossa") formed on the limestone surface itself, being left as the insoluble remnant of the dissolved limestone. This impermeable soil directed more water into certain fissures and accelerated the development of individual cavities. This impermeable material also made possible the development of cavities in a horizontal direction.

Pleistocene climatic changes led to a very important stage in the development of cavities. The more extensive removal of loose soil (on the slopes) from declivities and neogenic lake basins coincides with a rapid filling up of cavities, particularly in the parts lying nearer to the openings. Also loose material swept down by wind was carried by water into the cavities. In this way nearly all the cavities on the Dinaric karst sur-



face were blocked during Pleistocene times. This deposit was generally much coarser than that brought into the cavities during the Pliocene. The profiles of much pleistocene sediments show that the intensity of the deposition and the composition of the deposits oscillated and there were even periods during which a calcite crust formed over the deposits.

In the Pleistocene an even stronger hydrographic concentration took place on individual cavities, primarily on the swallow-holes on the margins of the karst poljes through which enormous amounts of impermeable material was carried away.

The Holocene i. e. the present phase in the development of cavities is characterised primarily by the washing off of loose material and the re-opening of cavities filled up during earlier stages.

Thus we may conclude that cavities in the Dinaric karst have passed through three fairly distinctive phases. In the Miocene and the lower Pliocene the progressive phase in the development of cavities took place. The upper Pliocene and the Pleistocene are characterised by the filling up of cavities with impermeable material and by a intensive development of individual cavities at the margins of the karst poljes which assumed the role of a water-collector for a wider area. In the present phase previously blocked cavities on floor and profile are re-opening because of progressive removal of deposits.

Die Kršna jama liegt unweit Loč östlich vom allgemein bekannten Cerklje jezero, dem Zirkulärer See, so sich ihr in einer Kluft entstandener Eingang im Bergosthang der Kršna gora öffnet. Die Höhle wurde erstmals von Ivan CERAR (ZOR-2281) 1824 und 1825 betreten, in großen Umrissen aufgenommen und 1838 auch beschrieben. Außer anderen besuchte sie 1853 der bekannte Höhlenforscher Adolf SCHMIDL und erwähnte ihr in seinem klassischen Werk über "Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Bozeng, Planina und Laas" ein ausdehnreiches Kapitel. Besonders bekannt wurde sie, als Nachbarn von HOCHSTETTER 1878 und 1879 hier nach Höhlenbären grub und, wie er selbst anführt, etwa 4600 Knochen sammelte und mitbrachte, während sich eine fast lebensgroße Anzahl nichterhalten ließ, oder, weil zerbrochen, das Mitnehmen nicht sehr erschwert wurde. Die Ergebnisse seiner Expeditionen, die beide nur wenige Tage im Anspruch nahmen, veröffentlichte er 1881. Der noch heute wichtigen Abhandlung liegt auch ein von seinem Assistenten J. SZOMBATHY im Maßstab 1:1000 gezeichneter Plan bei, die erste wissenschaftliche Detailaufnahme der Höhle bis zum ersten See. Doch Hochstetter verstummte sonderbarerweise die Nachrichten über die Höhle, obwohl sie natürlich öfters von einzelnen Touristen und auch Suchern von Höhlenbärenknochen besucht wurde. Erst 1926 wurde sie von einer durch den Mittelschulprofessor M. FREZELJ geführten und verhältnismäßig gut ausgerüsteten Schülerexkursion auf neue aufgesucht. Sie stieß weit über den von Hochstetter erforschten trockenen Abschnitt in Neuland vor, bis in den Sechszehnten See. Über diesen unverdientermaßen wenig beachteten Vorstoß berichtet Frezelj zwar in einer slowenischen Jugendzeitschrift, erwähnte aber seine Ergebnisse nicht höhlenkundlich aus.

Erst das Društvo za raziskovanje jam Slovenije, der Verein für Höhlenforschung in Slowenien, nahm die allertägige Erforschung und Vermessung der Höhle in Angriff und hat seit 1927 und besonders 1929 hier Beachtliches geleistet. 1930 erforschten J. KOS, T. KRASOVEC und I. MICHLER weitere neue Abschnitte des Hauptganges und den Maßstabsangang. 1931 drangen F. BAR, J. KOS und I. MICHLER in den letzten Abschnitt der Höhle mit dem 75 m hohen Kristallseal ein und 1934 erreichten wieder K. BAR, I. MICHLER und M. BUKOVEC das Nordende des Hauptganges, während eine von A. BERKO geführte Gruppe im Herbst desselben Jahres den vom Kalvarienberg nach Südwestwärtig großen Nebengang Blata untersuchte. Über diese Entdeckungen berichtete zwei Aufätze I. MICHLERS im Proteus 1934. Spätere Expeditionen ergänzten das





SEKTION I

Walter BOHINEC

DIE KRIŽNA JAMA (KREUZBERGHÖHLE) BEI LOŽ, SLOWENIEN

Die Križna jama liegt unweit Lož östlich vom allgemein bekannten Cerknisko jezero, dem Zirknitzer See, wo sich ihr in einer Kluft entstandener Eingang im Nordosthang der Križna gora öffnet. Die Höhle wurde erstmals von Ivan CERAR (ZÖRRER) 1824 und 1925 befahren, in groben Umrissen aufgenommen und 1838 auch beschrieben. Außer anderen besuchte sie 1853 der bekannte Höhlenforscher Adolf SCHMIDL und widmete ihr in seinem klassischen Werk über "Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas" ein umfangreiches Kapitel. Besonders bekannt wurde sie, als Ferdinand von HOCHSTETTER 1878 und 1879 hier nach Höhlenbären grub und, wie er selbst führt, etwa 4600 Knochen sammelte und mitbrachte, während sich eine fast ebensogroße Anzahl nichterhalten ließ, oder, weil zerbrochen, des Mitnehmens nicht wert erachtet wurde. Die Ergebnisse seiner Expeditionen, die beide nur wenige Tage in Anspruch nahmen, veröffentlichte er 1881. Der noch heute wichtigen Abhandlung legte er auch einen von seinem Assistenten J. SZOMBATHY im Maßstab 1:1000 gezeichneten Plan bei, die erste wissenschaftliche Detailaufnahme der Höhle bis zum ersten See. Nach Hochstetter verstummen sonderbarerweise die Nachrichten über die Höhle, obwohl sie natürlich öfters von einzelnen Touristen und auch Suchern von Höhlenbärenknochen besucht wurde. Erst 1926 wurde sie von einer durch den Mittelschulprofessor M. PREZELJ geführten und verhältnismäßig gut ausgerüsteten Schülerexkursion aufs Neue aufgesucht. Sie stieß weit über den von Hochstetter erforschten trockenen Abschnitt in Neuland vor, bis in den Sechzehnten See. Über diesen unverdientermaßen wenig beachteten Vorstoß berichtet Prezelj zwar in einer slowenischen Jugendzeitschrift, wertete aber seine Ergebnisse nicht höhlenkundlich aus.

Erst das Društvo za raziskovanje jam Slovenije, der Verein für Höhlenforschung in Slowenien, nahm die allseitige Erforschung und Vermessung der Höhle in Angriff und hat seit 1927 und besonders 1929 hier Beachtliches geleistet. 1930 erforschten J. KOS, T. KRASOVEC, und I. MICHLER weitere neue Abschnitte des Hauptganges und den Matthiasgang, 1931 drangen F. BAR, J. KOS und I. MICHLER in den letzten Abschnitt der Höhle mit dem 75 m hohen Kristallsaal ein und 1934 erreichten wieder F. BAR, I. MICHLER und M. BUKOVEC das Nordende des Hauptganges, während eine von A. SERKO geführte Gruppe im Herbst desselben Jahres den vom Kalvarienberg nach N abzweigenden großen Nebengang Blata untersuchte. Über diese Entdeckungen berichteten zwei Aufsätze I. MICHLERS im Proteus 1934. Spätere Expeditionen ergänzten das

das gewonnene Bild, doch wurden die Arbeiten durch den zweiten Weltkrieg unterbrochen. Nach dem Kriege wurden sie wieder fortgesetzt. Ab 1955 werden auch Messungen der Wassermenge in verschiedenen Abschnitten der Höhle vorgenommen, gleichlaufend chemische und natürlich auch Temperaturmessungen. Sehr interessant ist die Fauna der Křižna jama, stammt doch aus ihr der Höhlenkäfer *Anophtalmus heteromorphus*, der bisher nur aus dieser Höhle bekannt ist. Auffallenderweise fehlt der *Proteus anguinus*, obwohl er in benachbarten Quellen des öfteren gefunden wurde.

Es kann natürlich nicht meine Aufgabe sein, hier eine detaillierte Beschreibung der insgesamt fast 7 km langen Höhlengänge zu geben. Wir haben es hier mit einer ausgesprochenen Wasserhöhle zu tun. Sie besteht aus einem Hauptarm, der vom Höhlenende an zuerst nach S verläuft, dann aber vom Křižna gora genannten Versturzwärts im allgemeinen nach W gerichtet ist, obwohl er in großen Mäandern wiederholt die Richtung ändert. Vom Hauptarm zweigen mehrere Nebengänge ab, so im ersten Abschnitt der Höhle der Dezmangang und die Bärenhöhle, weiterhin der Suhi rov, d. i. der trockene Gang, der lange Blata genannte, im Großen und Ganzen von N nach S gerichtete Gang mit dem stärksten unterirdischen Zufluß des Höhlenbaches, und schließlich unweit des Kristallberges der prächtige, an Tropfsteinen reiche Matthiasgang. Der Hauptgang verläuft fast horizontal, beträgt doch der Höhenunterschied zwischen dem Höhlenende, in das der Höhlenbach eintritt, und der Eingangshalle bloß 10 m. Trotzdem ist die Höhle nicht leicht begehbar, da sich der Höhlenbach an vielen Stellen zu mehr oder weniger breiten und langen Seen erweitert, die teilweise durch große Verstürze unterbrochen werden. Der Hauptgang ist 10 bis 20, stellenweise auch 30 und mehr Meter breit und durchschnittlich 10 m hoch, erreicht aber besonders bei den Verstürzen beträchtliche Höhen, beim Kalvarienberg 20, beim Křižna gora genannten Versturz 35 und im Kristallsaal, wie schon erwähnt, 75 m. Auch im Blatagang gibt es Saalhöhen bis zu 35 m. Am niedrigsten ist der Hauptgang bei der sogenannten Niedrigen Durchfahrt unmittelbar nach dem Kalvarienberg, wo der Abstand zwischen Wasserspiegel und Decke fast 50 m weit nur 50 cm beträgt und bei Hochwasser eine Durchfahrt unmöglich macht. Bei dieser Passage fragen wir uns immer wieder, wieso der Höhlenfluß gerade hier nicht die Kraft aufbrachte, dasselbe Gestein zu erodieren, das er in nächster Nachbarschaft zu großen Räumen ausgewaschen hat. Vielleicht hat der Jurakalk hier doch eine andere chemische Zusammensetzung.

Das Gewässer, das die Höhle durchfließt und die erwähnten Seen bildet, stammt zum größten Teil von Bächen, die auf der benachbarten Hochfläche von Bloke versickern. Schon im oberen und mittleren Abschnitt der Höhle verschwindet ein Teil des Wassers durch Schwundlöcher in die Tiefe, ebenso auch beim zweiten See. Der Abfluß des ersten Sees versinkt nach kurzem Lauf und tritt im Dezmangang wieder auf. Hier bildet es einen kleinen Wasserfall und versickert unmittelbar darauf, noch im Bereich der Höhle selbst aufs Neue. Dieser Höhlenbach schwillt nur bei Hochwasser zu einem Flusse an und kann unmöglich die mächtige Wasserröhre geschaffen haben, die die Höhle jetzt darstellt. Diese großen Räume sind zweifellos das Werk eines stärkeren Vorgängers dieser Wasserrinne, der dann in eine tiefere Etage abgesunken ist. Seine einstige Existenz beweisen auch die stellenweise mächtigen Sedimente, die er hinterlassen hat und in die sich die späteren Gewässer eingeschnitten haben. Vielerorts stößt man auf feinsandige Konglomerate, die auch auf den einstigen Höhlenfluß zurückzuführen sind. Die tiefere Etage der Křižna jama ist an nur wenigen Stellen durch Schächte zugänglich. Ihrem Niveau entspricht vielleicht das Wasser in der Tiefe der Kittlhöhle im großen Nebenarm rechts vom Eingang.

Eine geraume Zeit lagen einzelne Teile der Křižna jama trocken, was wir aus dem Vorhandensein von großen Stalagmiten, die heute z. B. im zweiten See im Wasser stehen, schließen dürfen. Erst in einer dritten späteren Phase drangen wieder kleinere Wassermengen in die obere Etage ein, jedoch mit vermutlich anderen chemischen und höhlenbildenden Eigenschaften. Ihnen und dem Deckentropfwasser ist die Bildung von Sinterablagerungen, Sinterbecken und anderen Formen zu verdanken.

Nach diesem summarischen Überblick über die Entdeckungsgeschichte, die geographischen Verhältnisse und die Genese der Křižna jama sei es mir erlaubt, einige morphologische Einzelheiten dieser Höhle, die mit ihrem Reichtum an verschiedenen Formen geradezu ein unterirdisches Museum darstellt, aufzuzeigen.

Der Eingangsabschnitt des Dezgangs zeigt eine nahezu wagrechte Schichtung und starke Zerklüftung des Gesteins. Messerscharfe Grate verraten, daß das Wasser hier zeitweise mit intensiver korrosiver Kraft das Gestein umgebildet hat wobei in den Kleinformen auch die petrographische Struktur hervorgetreten ist. Jedenfalls sind diese Formen ein Werk des Hochwassers. Ähnliches kann man auch von dieser Partie sagen, im Abschnitt, aus welchem HOCHSTETTER die sogenannten Öfen beschreibt, Löcher und abgründige Spalten im Boden, aus deren Tiefe man Wasser rauschen hört. Auch diese Formen sind von aggressiven Fluten geschaffen worden, die nicht aufbauen, sondern zerstören. Ganz anders verhält sich das Niederwasser, das den Sinter ausscheidet und immer wieder neue brillante Formen schafft, wie z.B. die halskrausenförmigen Sinterwannen in demselben Gang. Sehr interessant sind auch die blumenkohlartigen Sinterausscheidungen im kristallklaren Wasser. Es handelt sich hier um Kleinformen, die jedoch trotzdem Beachtung verdienen.

Wir besuchen nun den berühmtesten Abschnitt der Höhle, die Bärenhöhle. Gleich am Anfang dieses Ganges begrüßt uns eine Sinterwanne. Die Farben des Sinters wechseln hier auf kurze Entfernungen. Der Sinter, der die Wand verkleidet, sowie die Kuppe im Wasserbecken links sind rötlich gefärbt, das Deckentropfwasser schafft auch reinweiße Formen, wie den kleinen Stalagmiten auf der Kuppe selbst. Die Schichtung der Wände ist stark verdeckt. An einer anderen Stelle des Ganges tritt sie jedoch wieder deutlich hervor. Wir haben hier den Eindruck, als hätten Maurer die Wände mit gewaltigen Kalkplatten aufgebaut. Als das Wasser die untere Partie dieses Raumes auswusch und erweiterte, verloren die Deckenplatten die bisherige Stütze und stürzten ein; vorne sieht man noch einen Rest dieses Versturzes. Der Raum selbst bekam so allmählich einen kuppelförmigen Querschnitt mit wagrechter Decke. Weiter im Inneren der Bärenhöhle liegt der schon von HOCHSTETTER so benannte See Tiberias, eine wundervolle, ringsum mit weißem Sinter umrandete Wanne. Der letzte Abschnitt dieses Ganges der von DEZMAN "Hochstetters Schatzkammer" genannt wurde, enthielt die Tausenden von Bärenknochen, die HOCHSTETTER hier ausgegraben hat. In der Bärenhöhle liegen noch allenthalben Knochen des Höhlenbären herum, neue Grabungen, die aber systematischer durchgeführt werden müßten, als dies HOCHSTETTER getan hat, würden gewiß noch zu interessanten Ergebnissen führen. Jedenfalls ist es verwunderlich, daß sich nur hier, und zwar in der obersten Lehmschicht, Höhlenbärenknochen gefunden haben, und dies in primärer Lage zu Tausenden übereinandergeschichtet. Die Frage, wie dies geschehen konnte, ist noch nicht ganz geklärt.

Wir verlassen nun die Bärenhöhle und wandern die Haupthöhle aufwärts. Ein kleiner Nebengang am rechten Ufer des ersten Sees verläuft parallel mit dem Einfallen der Schichten. Das Querprofil mit den beiden Felsnasen bzw. Einschnitten verrät das Vorhandensein von zwei Etagen. In der oberen überwog die Tiefenerosion, während sich der Gang der unteren allmählich verbreitert. Auf einer Stufe zwischen dem Ersten und dem Zweiten See haben sich Reste durch Sinter verbundenen Schotter und Sandes erhalten, Zeugen der einstigen Aufschüttung durch den Vorgänger des heutigen Höhlenbaches. Durch Korrosion wurden auf der gesamten Oberfläche etwa 10cm Kalkstein abgetragen, nur unter dem Sediment ist er erhalten geblieben. - Die Ostwand des Zweiten Sees folgt einem nahezu vertikalen Bruch. Die Wand durchziehen von oben bis unten karrenähnliche parallele Rillen. Wie diese unterirdischen Karren, man möchte sagen, Pseudokarren, entstanden sind, entzieht sich leider noch unserer Kenntnis. Leichter sind jene großen horizontalen Rinnen zu verstehen, die das fließende Wasser hier längs der Schichtfugen ausgemeißelt hat. - In der Nähe des Dritten Sees hat das Wasser auf einer geneigten Felspartie unzählige kleine Einkerbungen geschaffen, man könnte sie Façetten nennen. Genau dieselben Formen sind auch im hellbraunen bis nahezu wei-



ßen Sinter entstanden, der den oberen Teil des Felsens und die kleinen, mit kristallklarem Wasser gefüllten Becken bedeckt hat. Diese Becken sind an eine Querspalte gebunden, längs der das Wasser noch intensiver erodieren und korrodieren kann. - Bei der Südwand am Elften See hat sich verkitteter Sand in zahlreichen dünnen Schichten erhalten, die einen guten Meter über die jetzige Wasserfläche und bis unter die Decke reichen. Diese Sandschichten stützen sich auf festen Fels, der stellenweise gerillt ist. Über die Sandschichten hat sich Sinter gelegt und auf ihnen entstand ein kleiner Stalagmit, der knapp unter der Spitze von einer neuerlichen Aufschüttung im Wachstum gestört wurde. - In einem Felsblock im Trockenen Gang der Křižna jama hat das von der Decke herabtropfende Wasser im Kalkstein, der mit einer dünnen Schicht rötlichen Lehm bedeckt ist, ein 3 bis 5 cm tiefes Loch ausgehöhlt. Dies ging umso leichter vonstatten, da die Oberfläche des Felsens von feinen Sprüngen durchzogen ist. Das Wasser korrodiert hier nicht nur, sondern zerstört den Stein auch mechanisch durch den Aufschlag aus 15 bis 20 m Höhe. In demselben Gang ist unter einem Versturz ein kleiner Hohlraum entstanden. Ringsum herrscht rötlicher Lehm vor, der stellenweise verkittet und mit einer dicken Sinterdecke überzogen ist. Längs einer kleinen Felsspalte entstehen hier reinweiße Tropfsteinbildungen und den rötlichen Boden durchziehen weiße Sinteradern. Die kleinen Sinterwannen sind hier oft mit Wasser gefüllt, auf dem mitunter Kristallschuppen schwimmen, da die Verdunstung sehr stark ist. Unweit davon befindet sich eine gewaltige Schichttafel, die ihren Halt verliert und längs der sich verbreiternden Schichtfuge sich löst und herabstürzen wird. Dies geschieht nicht etwa plötzlich, sondern allmählich, was aus den kleinen Tropfsteinen zu ersehen ist, die ja für ihr Wachstum doch schon eine Spanne Zeit gebraucht haben. - Beim Langen See im Hauptgang der Höhle ist die stark versinterter Deckenspalte bemerkenswert, sowie auch eine Felspartie, die vielleicht als Rest eines einstigen höher gelegenen Flußbettes zu deuten ist. - Im Matthiasgang befindet sich eine Gruppe verschiedenfarbiger Decken- und Auftröpfsteine, teilweise in excentrischer Formung. Der Matthiasgang ist voll solcher Wunder. Besonders ist hier eine Tropfsteinsäule bemerkenswert, die von der Decke abgebrochen ist und um eine Stück nach Vorne wanderte; entweder hat ein Erdbebenstoß das Geschehnis ausgelöst oder ein plötzlicher Deckenbruch in der Nähe, der Boden kann sich aber auch an dieser Stelle durch Unterspülung gesenkt und verschoben haben. Es befinden sich auch andere abgebrochene Tropfsteine, deren Bruchstellen später wieder versinterten, in der unmittelbaren Umgebung.

Die Forschungen gehen in der Křižna jama fleißig weiter und gewiß werden hier noch manche Entdeckungen unsere Kenntnis von der Unterwelt des Karstes bereichern.



SEKTION I

Ivan GAMS

**DER EINFLUSS DER SCHICHTENLAGE AUF DIE RICHTUNG  
DER HÖHLENGÄNGE UND AUF DIE QUERSCHNITTE  
IN DEN LÄNGSTEN HÖHLEN SLOWENIENS.**

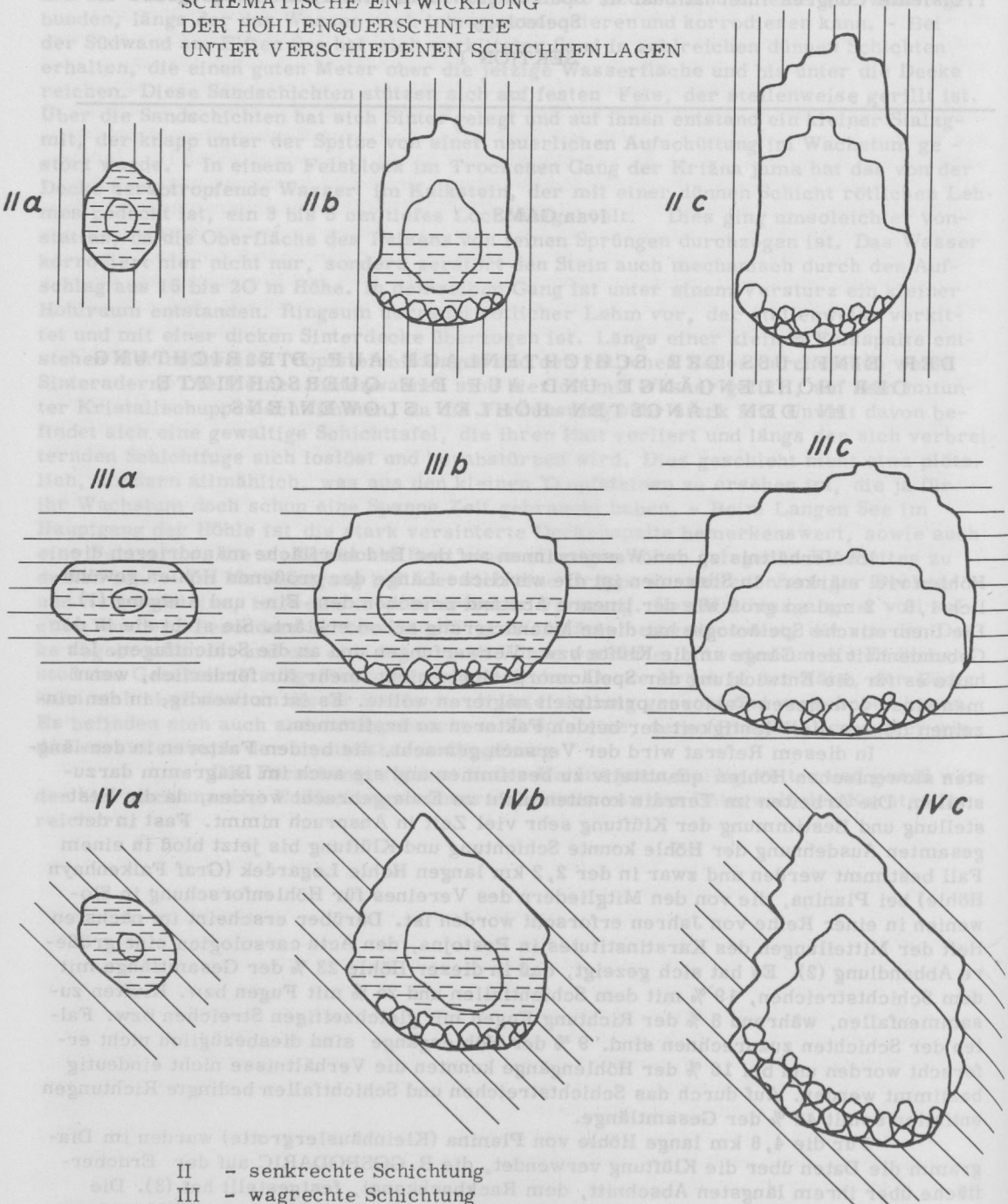
Im Verhältnis zu den Wasserrinnen auf der Erdoberfläche mäandrieren die Höhlen viel stärker. In Slowenien ist die wirkliche Länge der größeren Höhlen gewöhnlich 1,6 - 2 mal so groß wie der lineare Abstand zwischen dem Ein- und Ausgang (1). Die theoretische Speläologie hat diese Mäandrierung schon erklärt. Sie sieht sie in der Gebundenheit der Gänge an die Klüfte bzw. Verwerfungen und an die Schichtfugen. Ich halte es für die Entwicklung der Speläomorphologie nicht mehr für förderlich, wenn man einen von diesen Faktoren prinzipiell negieren wollte. Es ist notwendig, in den einzelnen Höhlen die Wichtigkeit der beiden Faktoren zu bestimmen.

In diesem Referat wird der Versuch gemacht, die beiden Faktoren in den längsten slowenischen Höhlen quantitativ zu bestimmen und sie auch im Diagramm darzustellen. Die Arbeiten im Terrain konnten nicht zu Ende gebracht werden, da die Feststellung und Bestimmung der Klüftung sehr viel Zeit in Anspruch nimmt. Fast in der gesamten Ausdehnung der Höhle konnte Schichtung und Klüftung bis jetzt bloß in einem Fall bestimmt werden und zwar in der 2,2 km langen Höhle Logarček (Graf Falkenhayn Höhle) bei Planina, die von den Mitgliedern des Vereines für Höhlenforschung in Slowenien in einer Reihe von Jahren erforscht worden ist. Darüber erscheint im nächsten Heft der Mitteilungen des Karstinstitutes in Postojna, den Acta carsologica, eine größere Abhandlung (2). Es hat sich gezeigt, daß in dieser Höhle 23 % der Gesamtlänge mit dem Schichtstreichen, 19 % mit dem Schichtfallen und 25 % mit Fugen bzw. Klüften zusammenfallen, während 8 % der Richtung Fugen mit gleichzeitigen Streichen bzw. Fallen der Schichten zuzurechnen sind. 9 % der Höhlengänge sind diesbezüglich nicht erforscht worden und bei 16 % der Höhlengänge konnten die Verhältnisse nicht eindeutig bestimmt werden. Auf durch das Schichtstreichen und Schichtfallen bedingte Richtungen entfallen somit 42 % der Gesamtlänge.

Für die 4,8 km lange Höhle von Planina (Kleinhäuslergrotte) wurden im Diagramm die Daten über die Klüftung verwendet, die R. GOSPODARIC auf der Erdoberfläche über ihrem längsten Abschnitt, dem Rackbachkanal, festgestellt hat (3). Die meisten Klüfte verlaufen in der NW-SO Richtung, auf die rund 700 m der Höhlengänge entfallen. Auf durch das Schichtstreichen bedingte Richtungen entfallen rund 1800 m, also mehr als doppelt soviel. Für die übrigen größeren slowenischen Höhlen wurde im

Bild 2

**SCHEMATISCHE ENTWICKLUNG  
DER HÖHLENQUERSCHNITTE  
UNTER VERSCHIEDENEN SCHICHTENLAGEN**



- II - senkrechte Schichtung
- III - wagrechte Schichtung
- IV - geneigte Schichtung
- a - wassererfülltes Stadium
- b - teilweise Wassererfüllung
- c - durch mechanische Verwitterung erweitertes Stadium

Diagramm nur die Schichtenlage dargestellt. Bei ihnen kann der Einfluß der Klüftung auf die Richtung der Höhlengänge nur indirekt beurteilt werden, und zwar in Bezug darauf, in welchem Maße sich die Gänge an das Streichen bzw. Fallen der Schichten halten.

In der Križna jama (Kreuzberghöhle) mit fast 7 km Länge verlaufen die Gänge größtenteils in Ost-Westrichtung, die dem Streichen, und in Nord-Südrichtung, die dem Fallen der Schichten entspricht. Wie bei keiner anderen slowenischen Höhle ist hier die durch das Schichtfallen bedingte Richtung ausgeprägt, vermutlich wegen der fast wagrechten Schichtung. Unter solchen Verhältnissen kann ein horizontaler Bach auch entlang der Fall- und nicht nur entlang der Streichungslinie fließen, um seinen horizontalen Lauf beibehalten zu können.

Sehr ausgeprägt ist das Streichen der Schichten in den fast 5 km langen Höhlen von Skočjan (Höhlen von St. Kanzian). Der geradlinig verlaufende Hankekanal hält sich fast zur Gänze an die Streichungslinie der Schichten. Nur in den Eingangsteilen des Systems dominiert die Ost-Westrichtung, was vielleicht der alpinen tektonischen Interferenz zuzuschreiben ist.

Viel komplizierter sind die Verhältnisse im längsten slowenischen Höhlensystem, in der 15 km langen Höhle von Postojna (Adelsberger Grotte). Hier sind besonders zwei Richtungen ausgeprägt, die Nordwest-Südost- und die Nord-Südrichtung. Gegen NW fließt die Pivka der Otoker Höhle zu, während sich die meisten trockenen touristischen Höhlengänge der zweiten Etage an die Nordrichtung halten. Die NW-Richtung des Pivkakanals entspricht dem Schichtstreichen und zugleich der Richtung der Fugen, die parallel zur vermutlichen Antiklinale verlaufen. In der Höhle sind die Richtungen des Schichtstreichens und Schichtfallens sehr verschieden, da das Gebiet tektonisch sehr bewegt ist. Mehrere Abschnitte liegen aber in wenig oder garnicht geschichtetem Gestein, z. B. der Große Berg (Kalvarienberg) und die Schönen Höhlen (Paradiesgrotte). Hier erreicht die Fugenrichtung ihre volle Entwicklung. Bemerkenswert ist, daß die Gänge in schwach bzw. ungeschichteten Fels stärker versintert sind, als jene im geschichteten Kalkstein. Auf dem Wege zu der "Alten Grotte" ist in der Versinterung sogar eine schroffe Grenze zu sehen, die der Grenze zwischen geschichtetem und ungeschichtetem Gestein entspricht.

Die aus den angeführten Beispielen zu folgernde Tatsache, daß in den längsten slowenischen Höhlen meist die Richtung der Schichtenlage dominiert, hat ihren Grund vor allem darin, daß das Kalkgestein des slowenischen Karstgebietes größtenteils gut geschichtet ist. Der Neigungswinkel der in vielen Fällen nach Süden fallenden Schichten beträgt meist  $8 - 20^\circ$ .

Kleinere Höhlen sind zuweilen noch mehr schichtgebunden, es gibt aber auch einige, die sich in ungeschichtetem oder schwach geschichtetem Gestein gebildet haben. Zu letzteren gehören z. B. Dimnice (Rauchgrotte) bei Markovčina, Vilenica bei Lovke und die Höhle von Divača, die einst den Ruhm, den heute die Grotte von Postojna und die Grotte von St. Kanzian genießen, genossen haben. Alle diese Höhlen zählt man zu den amstärksten versinterten slowenischen Höhlen. Das gleiche gilt für die schönen, noch zu wenig bekannten Höhlen Cerovačke pećine in Kroatien (Lika, bei Gračac). In den beiden größten montenegrinischen Höhlen, der Lipska pećina bei Cetinje und der Vjeterica (Windhöhle) im Popovo polje kommt die Schichtenlage recht schön zur Geltung.

Wir könnten die Gebundenheit der Höhlenrichtung an die Schichtenlage oft schon dem Höhlenplan entnehmen, wenn dieser mit geologischen Bezeichnungen der Schichtenlage ausgerüstet wäre. So erlaubt z. B. der Plan der längsten Höhle in Großbritannien, des Systems Ogof Ffynnon Ddu, die ausgezeichnete Arbeit Louis RAILTONS (4), die Bestimmung, in welchem Maße sich die Gänge an das Schichtstreichen und - Fallen halten. Die Höhle ist zugleich ein typisches Beispiel einer schachtelförmigen Anordnung der Höhlenräume mit rechtwinkligen Umbiegungen, mit denen der Gang rasch wechselnd aus durch Schichtstreichen bedingten Richtungen in solche, die durch Schichtfallen

verursacht wurden, umbiegt. Diese zwei Richtungen kommen auch in dem Diagramm sehr stark hervor.

Die Ursachen der Übereinstimmung der Höhlenrichtung mit der Schichtenlage sind vermutlich folgende: Bei den tektonischen Bewegungen werden die Schichtflächen oft zu Gleitflächen. Einzelne Schichten sind gegen die speläogenetischen Kräfte wenig widerstandsfähig und daher für die Entwicklung eines Ganges geeigneter als andere. Die wichtigste Ursache ist m.E. allerdings die Schichtfuge, die die ursprüngliche Wasserzirkulation ermöglicht und die Stelle des geringsten Widerstandes bei der Erweiterung der Höhlenräume ist. H. TRIMMEL (5) hat diese Art von Höhlen mit Recht Schichtfugenhöhlen genannt. Solche Höhlen überwiegen m.E. besonders in den jüngsten Stadien der Speläogenese.

In den schichtengebundenen Höhlen ist noch eine andere Abhängigkeit von der Schichtenlage zu bemerken, nämlich jene der Form des Querschnittes. Diese Abhängigkeit ist aber nicht so offenbar, da die Form des Querschnittes meist durch mehrere Faktoren bedingt ist, die man in folgende Gruppen eingliedern kann:

1. Die Form der Primärröhre. Sie hat A.BÖGLI untersucht und in allen Entwicklungsstadien verfolgt (6).
2. Verschiedenheiten in der petrographischen Struktur (Schichtfugen, Klüfte, Zertrümmerung, stellenweise geringer Widerstand gegen Erosion und Korrosion u.s.w.). In der Richtung des geringeren Widerstandes erweitert sich der Raum schneller.
3. Gesetzmäßigkeit der Hydromechanik und des Hydrochemismus.
4. Einfluß der Nebenquerschnitte, die zur Gleichmachung der Höhlenquerschnitte streben.
5. Einwirkung der Höhlensedimentation.

Die Speläomorphologie, die meines Erachtens bisher das Studium der Querschnitte zum Zweck der Erklärung der Speläogenese vernachlässigt hat, wird bestimmte Querschnitte, die unter mehreren verschieden gerichteten Faktoren entstanden sind und daher als Interferenzformen schwer erkennbar sind, mit besseren Erfolg analysieren können, wenn wir vor allem die einfachen schematischen Formen, die unter der Mitwirkung eines oder zweier Faktoren entstehen, zu bestimmen suchen. In den schichtgebundenen slowenischen Höhlen kann man typische Querschnittformen beobachten, die unter der Wirkung der Hydromechanik im geschichteten Gestein entstehen. Im jungen Stadium, solange der Kanal noch mit fließendem Wasser gefüllt ist, kommt es zu Tonnenprofilen. Sobald das Wasser im schon größeren Rohr nur am Boden fließt und an der Decke mechanische Verwitterung herrscht, entwickelt sich in horizontalen und vertikalen Schichten ein rechteckiges, in schief liegenden Schichten dagegen ein trapezförmiges Profil (7). Da das Gestein entlang der Schichtfugen gegen die speläogenetischen Kräfte wenig widerstandsfähig ist, wächst das Profil bei vertikaler Schichtung schneller in die Höhe, bei horizontaler Schichtung dagegen schneller in die Breite. In vertikalen Schichten sind die Gänge deshalb bedeutend höher und enger. Aus diesen Gründen ist es daher nicht notwendig, die rechteck- und trapezförmigen Profile einem lokalen tektonischen Zerreißen von Schichtpaketen zuzuschreiben, was unlängst wenig überzeugend versucht wurde (8). Damit stimmt auch die Feststellung überein, daß in den längsten slowenischen Höhlen das fließende Wasser mit Sand und Schotter als die intensivste höhlenerweiternde Kraft anzusehen ist. (9). Zu ähnlichen Schlüssen sind auch die ungarischen Forscher gelangt (10).

Zusammenfassend kann man sagen:

1. In den längsten slowenischen Höhlen dominiert der Einfluß des Streichen und Fallens der Schichten auf die Richtung der Gänge umso mehr, je mehr das Gestein geschichtet ist.
2. Das gibt uns gute Anhaltspunkte für die Erkundung noch unbekannter Höhengänge, über denen die geologische Struktur studiert werden kann.
3. Zum Studium der Genese einer Höhle ist es notwendig, alle Gänge zu berücksichtigen. Die Feststellung einer Gleitfläche oder eines als Folge der Schichtenlage



enstandenen Querschnittes erlaubt noch nicht den Schluß, daß die ganze Höhle an eine Störung oder an die Schichtfugen gebunden ist.

4. Um schon aus dem Höhlenplan Anhaltspunkte für den Charakter und die Genese der Höhle bekommen zu können, ist es empfehlenswert, in die Pläne auch Zeichen für die Schichtenlage aufzunehmen und bei Querprofilen das Gestein nicht schematisch, sondern so zu schraffieren, daß die Striche dem tatsächlichen Schichtfallen entsprechen.

#### LITERATUR:

- 1) SERKO A., Baravanje ponikalnic v Sloveniji. Geografski vestnik XVIII, Ljubljana 1946
- 2) GAMS I., Krasko podzemlje na severnem kraju Planinskega polja. Acta carsologica III, im Druck.
- 3) GOSPODARIC R., O pretrtem apnencu in podzemeljskih prostorih. Naše jame, I, Nr. 2 Ljubljana 1959
- 4) RAILTON C. L., The Ogof Ffynnon Ddu System. Cave Research Group of Great Britain, Nr. 6, Leamington.
- 5) TRIMMEL H., Die westliche Almberg-Eishöhle bei Obertraun (Oberösterreich) Die Ergebnisse der Untersuchungen bis zum Sommer 1955. Die Höhle, 1, 7. Jgg. Wien 1956.
- 6) BÖGLI A., Grundformen von Karsthöhlenquerschnitten, Stalactite.
- 7) GAMS I., Precni jamski profil in njegova odvisnost od lege skladov. Naše jame. Nr. 1-2, Ljubljana 1960.
- 8) ARNBERGER E., Neue Ergebnisse morphologischer Untersuchungen in der Dachstein-Mammuthöhle. Mitt. d. Bundeshöhlenkommission, Wien 1954.
- 9) GAMS I., O legi in nastanku najdaljših jam na Slovenskem. Naše jame I, Nr. 1 Ljubljana 1959
- 10) TAMAS F., Pomembni uspehi madzarske speleologije. Naše jame. Nr. 2 Ljubljana 1959.

OG OF FFYNNON DDU

#### Abb. 1:

Gängerichtungsdiagramme für Križna Jama, Planinska Jama (mit Klufrichtungsdiagramm oben), Skočjanske jame, Logarček, Postojnska jama (mit Plan) und Ogof Ffynnon Ddu - siehe Planbeilage.

#### Diskussion.

FRANK: Bei Höhlen, die sehr verzweigt sind, erschiene es mir vorteilhaft, für die einzelnen Höhlenteile oder Höhlenstockwerke verschiedene Diagramme anzufertigen, z. B. bei der Postojnska Jama ein Diagramm für die eigentliche Postojnska jama, ein zweites für die Pivka Jama, die ja 23 m tiefer liegt und deshalb auch anderen Voraussetzungen der Entwicklung unterworfen ist.

GAMS: Die Diagramme berücksichtigen sämtliche Schichtlagen ohne Rücksicht auf die Höhe der Gänge. Die Aufzeichnung besonderer Diagramme auch für einzelne Gänge wäre zweifellos sinnvoll.



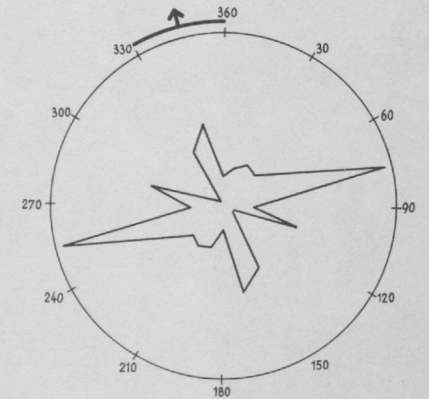
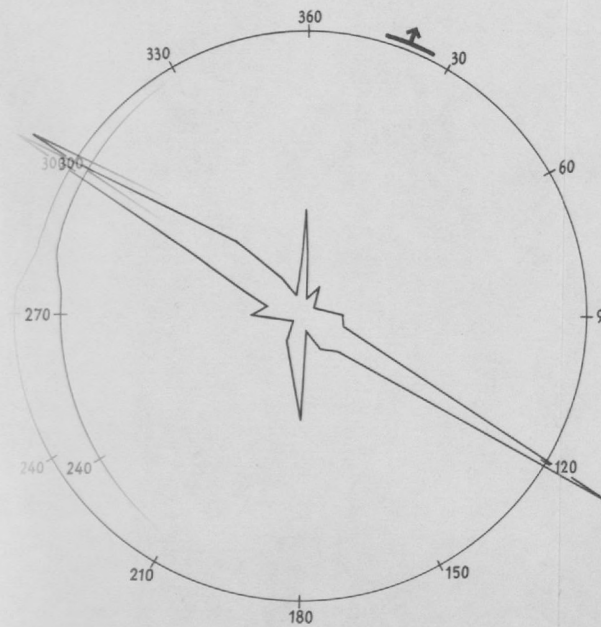
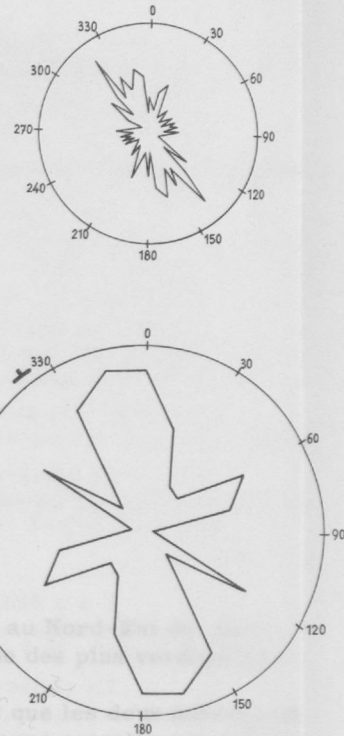
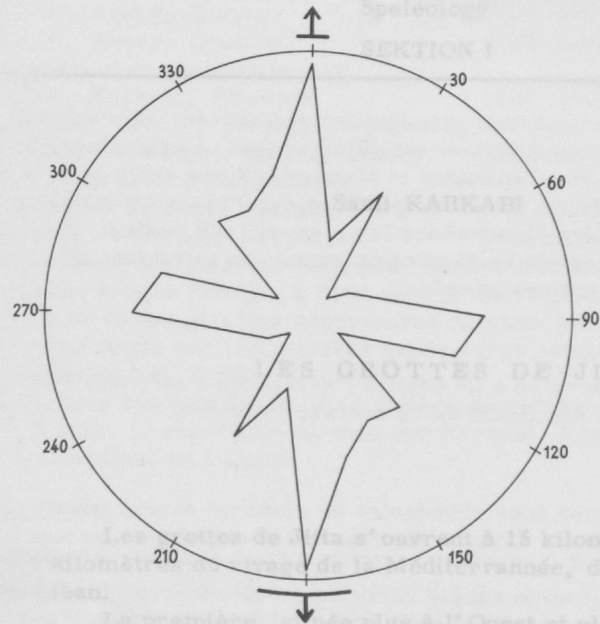


# KRIŽNA JAMA

# PLANINSKA JAMA

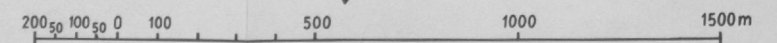
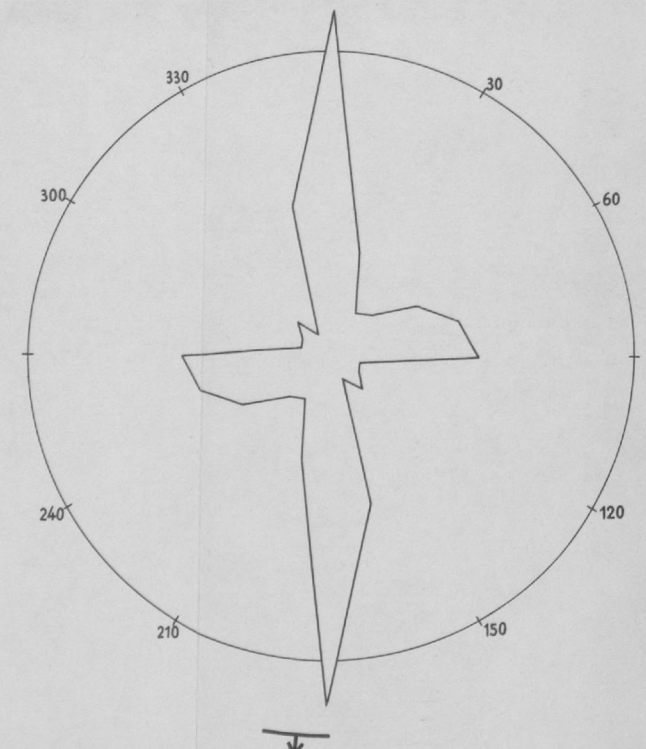
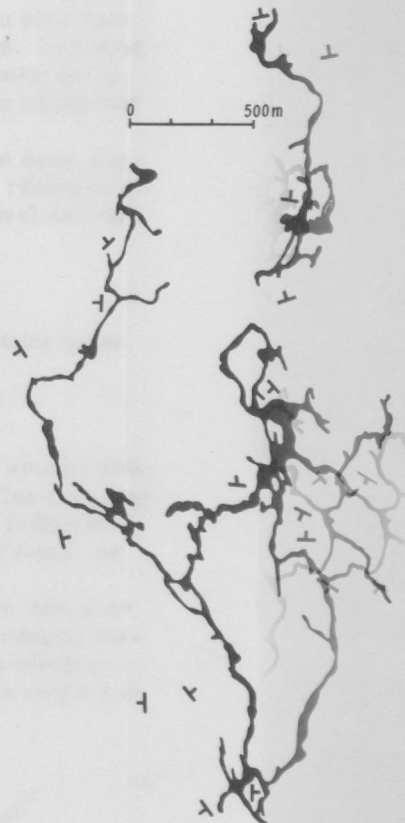
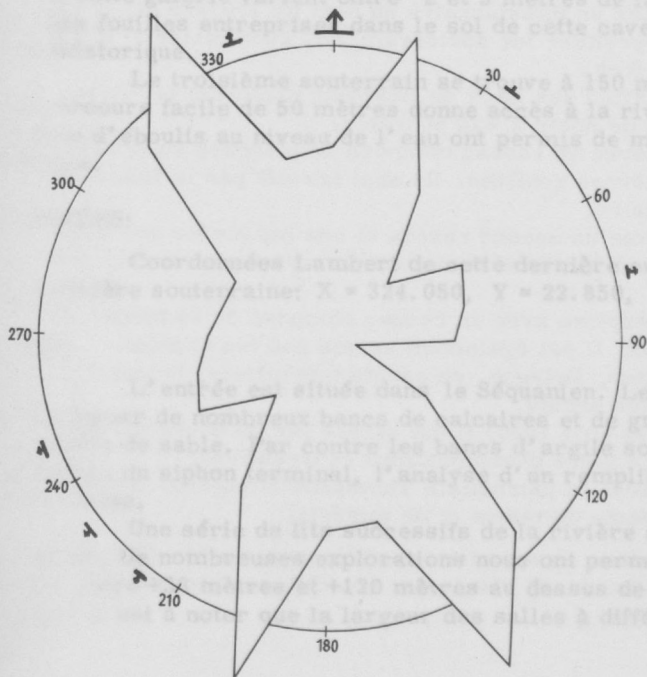
# ŠKOCJANSKE JAME

# LOGARČEK



# POSTOJNSKA JAMA

# OGOF FFYNNON DDU





Sami KARKABI

## LES GROTTES DE JIITA

Les grottes de Jiita s'ouvrent à 15 kilomètres au Nord-Est de Beyrouth et à 6 kilomètres du rivage de la Méditerranée, dans une des plus verdoyantes vallées du Liban.

La première, située plus à l'Ouest et plus bas que les deux autres, est une grande cavité d'où sort un important cours d'eau qui à l'heure actuelle est entièrement capté et alimente en eau potable presque toute la ville de Beyrouth. Cette rivière souterraine est la source principale du Nahr el Kelb, l'ancien LYCUS.

La seconde caverne se trouve à côté de la première et un peu plus haut. Elle domine la rivière de 8 mètres et possède un développement de 56 mètres. Les proportions de cette galerie varient entre 2 et 5 mètres de largeur et de 2 à 9 mètres de hauteur. Des fouilles entreprises dans le sol de cette caverne ont relevées un important habitat préhistorique.

Le troisième souterrain se trouve à 150 mètres en amont des deux autres. Un parcours facile de 50 mètres donne accès à la rivière. Des fouilles récentes dans un zone d'éboulis au niveau de l'eau ont permis de mettre à jour un nouvel habitat préhistorique.

### COORDONNÉES:

Coordonnées Lambert de cette dernière ouverture qui permet un accès aisée à la rivière souterraine: X = 324.050, Y = 22.850, Z = 72<sup>m</sup>98

### GÉOLOGIE:

L'entrée est située dans le Séquanien. Le long de la rivière souterraine, on peut distinguer de nombreux bancs de calcaires et de grès. Ceci explique les très importants dépôts de sable. Par contre les bancs d'argile sont beaucoup moins fréquents. Enfin au niveau du siphon terminal, l'analyse d'un remplissage bréchtique a relevé de l'augite du Trias.

Une série de lits successifs de la rivière apparaissent dès les 400 premiers mètres. De nombreuses explorations nous ont permis de parcourir le réseau fossile variant entre +33 mètres et +120 mètres au dessus de niveau actuel de la rivière souterraine. Il est à noter que la largeur des salles à différents niveaux varie entre 2 et 60 mètres.



## TEMPÉRATURES:

Niveau de la rivière souterraine: Eau: +15° C, Air: +16° C.

Galeries supérieures: Eau: +17° C, Air: +19° C.

## CRISTALLISATION:

La cristallisation est très abondante et très variée. Elle est de toute beauté, et les stalagmites et piliers sont souvent gigantesques. Les couleurs dominantes sont l'ocre, le rouge et le noir. Cependant le blanc n'est pas exclu mais surtout plus localisé dans les grandes salles. Dans les galeries supérieures (fossiles), ce sont les excentriques qui abondent et les phénomènes les plus curieux restent, les gours rouges étalés sur plusieurs mètres de hauteur et un massif de formation dite corallienne, s'étendant sur plus que 200 mètres carrés.

## DÉBIT:

La rivière souterraine a un débit à l'étiage de 1 m<sup>3</sup>/sec. Nous avons enregistré en temps de crues un maximum de 12 m<sup>3</sup>/sec. environ.

## FAUNE:

Il y a deux colonies très abondantes de chauves-souris qui se partagent l'entrée et les galeries supérieures. On peut distinguer les roussettes en bas et les pipistrelles en haut.

La rivière souterraine recèle quelques poissons et anguilles venus probablement de l'extérieur. Nous les avons aperçu jusqu'à 1000 mètres de l'entrée.

La mission Henri Coiffait a récolté à l'entrée des diplopoètes, isopodes terrestres, araignées, chernetes, coléoptères, collembolés et gastéropodes. Dans les parties profondes elle a récolté des isopodes terrestres, campodéidés et collembolés.

## EXPLORATION:

1836: Découverte de l'entrée par un missionnaire du nom de THOMSON. Il parcourt 50 mètres et atteint le premier lac souterrain, où, sans matériel d'exploration, il est forcé de s'arrêter.

1873: Quatre ingénieurs de l'Office des Eaux de Beyrouth explorent la rivière souterraine à la recherche de perte d'eau probable.

Première tentative: avec un radeau composé de planches supportées par des outres en peau de chèvres gonflées. Ils sont arrêtés par le Bouchon à 50 mètres de l'embarcadere.

Seconde tentative: avec un second radeau et une barque ils atteignent le Chaos (1000 mètres). Ils sont forcés d'abandonner n'ayant pu franchir des rapides très violents.

1892 et 1902: Professeur Day explore avec un radeau composé de 24 bidons d'essence et deux petits bateaux. Il est également arrêté par les rapides.

1924: Lamarche, Odinet, Janvier, Delagne, en canots individuels, franchissent les rapides. Une cascade les arrête.

1926: Professeur West atteint la cote 1300. Il est arrêté par un nouveau lac. Epuisé, il abandonne après trois jours d'explorations consécutives.

1927: Dr. Ward et son équipe avec le journaliste Thompson atteignent la cote 1800 mètres et abandonnent faute de temps et de matériel.

Après la deuxième guerre mondiale ce sont les expéditions du Spéléo-Club du Liban qui suivent aux explorateurs précédentes. Il s'agit des expéditions suivantes:



- 1946: Gorra, Anavy, Eid 2100 mètres en 3 jours;  
 1947: Anavy, Dumont, Seylaz 2300 mètres en 3 jours;  
 1949: Gorra, Anavy, Dumont 2600 mètres en 3 jours;  
 1951: Gorra, Anavy, Ghanum 3000 mètres en 5 jours;  
 1952: Expédition de reconnaissance  
 Gorra, Karkabi, Khawam 3000 mètres en 7 jours;  
 1953: Karkabi, Zoghbi, Mohbat, Arambourg 4100 mètres en 5 jours;  
 1954: Karkabi, Khawam, Zoghbi, Anavy 6200 mètres en 7 jours;  
 Un siphon arrête l'expédition.  
 1958: Expédition de reconnaissance  
 Karkabi, Khawam, Kasparian 6200 mètres en 5 jours;  
 Découverte des galeries blanches fossiles à 2500 mètres de l'entrée et des  
 galeries rouges fossiles à 6000 mètres de l'entrée.  
 1958: Découverte des galeries supérieures fossiles à 600 mètres de l'entrée.  
 1959: Jonction totale par les galeries supérieures jusqu'à 1800 mètres de l'entrée  
 par Karkabi et Farhi.  
 1960: Jaugeages systématiques de la rivière souterraine et coloration en deux points  
 différents. L'expédition formée par Karkabi, Khawam et Zoghbi atteint le si-  
 phon terminal en 6 jours.

#### AMÉNAGEMENT:

L'aménagement de la rivière souterraine a été confié à M. Sami Karkabi.  
 Ouverte au public en 1959, elle a enregistré en:

1959:	42 000 touristes
1960:	63 000 touristes
1961:	88 000 touristes.

La période où la grotte est accessible aux touristes s'étend du 15 mai au  
 15 décembre.

Deux systèmes, elle coule en petits ruisseaux et forme des marais ou des  
 lacs, et d'autre part elle passe goutte à goutte des formations granitiques. Ces deux  
 modes de circulation vont entraîner deux groupes de cristallisation. Notons tout de  
 suite que le puits du Douar Debbagh est creusé dans des grès tendres, alors que le quai  
 du Goran est beaucoup plus dur en général, et plus proche d'un calcaire de base.  
 La Grotte du Goran près du Cap Cantin est un feu d'artifice de concrétions de  
 toutes sortes. Les stalactites, stalagmites, colonnades, draperies, statuettes n'y font  
 pas défaut, mais cette grotte se signale surtout par un véritable foisonnement d'arbores-  
 cences, par des concrétions magnifiques mais rares en forme de parapluie renversé et  
 surtout par une cristallisation particulière qui va faire l'objet de cet exposé.

Ils sont immergés dans une pièce d'eau dormante, peu profonde, implantés  
 en groupes en faisceaux divergents sur le plancher stalagmitique. Chaque groupe, en  
 forme de cristaux allongés en pyramide triangulaire très aiguë. Ils divergent à partir  
 d'un pied commun et montrent la moitié des faces d'un rhomboédre voilé de cristaux  
 très aigus.

D'ailleurs ce ne sont pas des faces très planes, mais courbées, de plus en  
 plus verticales dans leur partie inférieure et le plus souvent striées ou mamelonnées.  
 Les arêtes de cette pyramide sont souvent abattues par des facettes d'un scalénoédre  
 ou d'un arête d, striées parallèlement à d. leurs pointes aussi sont émoussées par de  
 petites faces ternes p.

Les plus longs parmi ces cristaux n'ont pas de pointe, mais sont tronqués  
 et ont une section triangulaire très nette. Si on pose une plaque de verre sur un de  
 ces mamelons, elle s'applique exactement sur tous les triangles à la fois. Cette partie

Cette étude a été faite avec la collaboration de M. Le Chanoine GAUDEFROY, miné-  
 ralogiste au Service géologique du Maroc.



Dritter Internationaler Kongress für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology  
SEKTION I

---

Albert CAMUS

LES CALCITES DU GORAN ET DU DOUAR DEBBAGH  
(COTE ATLANTIQUE DU MAROC)

Les deux grottes du Goran et du Douar Debbagh présentent la particularité d'être creusées dans les grès calcaires appartenant à une dune littorale quaternaire. Ces formations ont une teneur élevée en carbonate de chaux (supérieure à 75%). La genèse et l'aspect de ces grottes illustrent bien le caractère hybride du matériau: l'aspect karstique y est visible, mais les effondrements se font fréquemment suivant les plans de stratification entrecroisée de ces dunes. La circulation de l'eau elle aussi participe aux deux systèmes, elle coule en petits ruisseaux et forme des mares ou des gours, et d'autre part elle perle goutte à goutte des formations gréseuses. Ces deux modes de circulation vont entraîner deux groupes de cristallisation. Notons toute de suite que le puits du Douar Debbagh est creusé dans des grès tendres, alors que le matériau du Goran est beaucoup plus dur en général, et plus proche d'un calcaire de karst. La Grotte du Goran près du Cap Cantin est un feu d'artifice de concrétions de toutes sortes. Les stalactites, stalagmites, colonnades, draperies, statuettes n'y font pas défaut, mais cette grotte se signale surtout par un véritable foisonnement d'excentriques, par des concrétions magnifiques mais rares en forme de parapluie renversé et enfin par une cristallisation particulière qui va faire l'objet de cet exposé<sup>1</sup>).

Ils sont immergés dans une pièce d'eau dormante, peu profonde, implantés par groupes en faisceaux divergeants sur le plancher stalagmitique. Chaque groupe, en forme de cristaux allongés en pyramide triangulaire très aigüe. Ils divergent à partir d'un pied commun et montrent la moitié des faces d'un rhomboèdre voisin de  $e^1$  mais plus aigu.

D'ailleurs ce ne sont pas des faces très planes, mais courbes, de plus en plus verticales dans leur partie inférieure et le plus souvent striées ou mamelonnées. Les arêtes de cette pyramide sont souvent abattues par des facettes d'un scalénoèdre sur l'arête d, striées parallèlement à d. leurs pointes aussi sont émoussées par de petites faces ternes p.

Les plus longs parmi ces cristaux n'ont pas de pointe, mais sont tronqués suivant une section triangulaire très nette. Si on pose une plaque de verre sur un de ces macarons, elle s'applique exactement sur tous les triangles à la fois. Cette parti-

---

1) Cette étude a été faite avec la collaboration de M. Le Chanoine GAUDEFROY, minéralogiste au Service géologique du Maroc.

cularité s'explique facilement, les cristaux ont grossi dans l'eau de la vasque saturée de bicarbonate de calcium; tant qu'ils étaient complètement immergés, ils croissaient dans toutes les directions, mais dès qu'ils ont eu atteint la surface, ils ne se sont plus développés que latéralement.

Pour que ce phénomène se soit si simplement réalisé, et particulièrement, pour que les sections soient si nettes, et leurs arêtes si rectilignes, il faut que le niveau de l'eau nourricière n'ait pratiquement pas changé depuis que la pointe des cristaux a atteint la surface. Et même, comme ils n'ont pas de zone d'accroissement, et qu'ils paraissent homogènes du coeur à la surface, il faut aussi que la composition de l'eau et ses impuretés n'aient pas varié pendant toute leur croissance à partir du plancher stalagmitique.

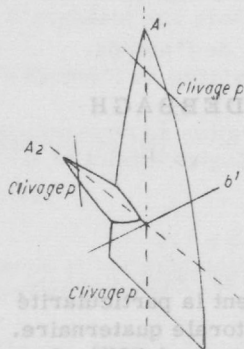


Fig. 1

Section d'un cristal suivant le plan de symétrie montrant l'orientation du plan de macle  $b^1$ , et les dispositions relatives des clivages p.  $A_1$  et  $A_2$ : axes ternaires des cristaux maclés.

Au cours de la croissance, le moindre accident provoque une macle  $b^1$ . Le nouveau cristal est symétrique du principal par rapport au plan  $b^1$ , comme le montre le schéma ci-dessus. Une autre parenté se déduit de cette macle: deux clivages p sont parallèles. Tous les cristaux symétriques par rapport au même plan  $b^1$  sont parallèles entre eux, c'est une famille de cristaux. Comme il y a trois plans  $b^1$  dans le même cristal primitif, il y a trois familles de cristaux maclés. Et si l'on clive les pointes de tous les cristaux et qu'on les éclaire par une même source de lumière, ils miroitent en même temps que leur parent. Et ce n'est pas fini, car chacun des enfants de cette génération va produire à son tour une troisième génération qui est à la deuxième comme celle-ci à l'ancêtre. Un tableau schématique résume tous ces faits jusqu'à la quatrième génération. L'ensemble forme une calcite arborescente.

La Grotte du Douar Debbagh s'ouvre au fond d'un puits dans un quartier périphérique de Rabat. On y trouve des formes arborescentes de calcite d'un blanc éclatant, de deux sortes différentes. Les premières, celles que nous étudierons ici, sont exposées à l'air. Elles font penser à une lime "Tiers-point" dont chacune des trois faces, au lieu d'être plane, serait formée par un dièdre concave. Chaque

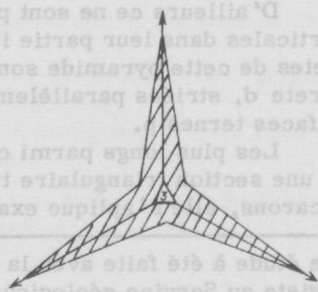


Fig. 2

Cristaux de la Grotte du Douar Debbagh (Coupe).

# Deutscher Internationaler Kongress für Spätspeleologie

pousse de ce types constitue un seul cristal de calcite suivant son axe ternaire, et où les trois palmes matérialisent les trois plans de symétrie du cristal.

De plus, chacune de ces six faces n'est pas plane, mais formée de nervures parallèles, de deux orientations différentes, entrecroisées, formant une sorte de gaufre régulier. Sur ces cristaux, on voit de petites pointes implantées obliquement, et toutes orientées semblablement sur les deux faces d'un même dièdre creux. Les dièdres voisins, de la même manière, portent des pointes orientées à  $120^\circ$  de celles du premier. Ce sont de petits cristaux maclés sur le gros suivant la même loi de symétrie que celle décrite pour les cristaux du Goran. Lorsque ces cristaux adventices sont de grosseur suffisante, ils prennent aux aussi, l'aspect tripalmé du cristal initial. Comme dans le Goran, cette deuxième génération peut porter des cristaux d'une troisième génération, maclés sur la seconde comme celle-ci sur la première. La formation de ces "faces creusées" pourrait s'expliquer de la manière suivante: quand l'eau est peu abondante elle s'évapore avant de former des gouttes, elle mouille simplement les cristaux par capillarité, et s'évapore aux points les plus exposés à la circulation de l'air, c'est-à-dire aux arêtes. C'est donc là qu'elle dépose son carbonate de calcium.

Cette explication, quoique simple, paraît confirmée par l'examen de la deuxième sorte de cristaux du Douar Debbagh, celle que l'on trouve complètement immergée dans l'eau. A première vue, ces cristaux sont également triangulaires. En fait un examen attentif montre qu'ils sont semblables aux cristaux de Goran: le cristal n'est plus formé de trois dièdres concaves à  $120^\circ$  l'un de l'autre, mais d'un cristal convexe à section triangulaire, et sur chacune des trois faces vient se macler une deuxième génération qui pourra à son tour porter une troisième génération suivant la même loi.

Es war es auch, der der Forschergruppe Wiesner-Neustadt des Landesvereines für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich im Jahre 1959 eine Höhle in den Schotz legte, die die Gruppe sofort und unarwartet vor neue Probleme stellte, deren Lösung ihre Möglichkeiten eigentlich überstieg. Es war jene Höhle, die jetzt als "Excentriqueshöhle" bezeichnet wird, die 1959 bei Steinbrunnerbächen aufgeschlossen wurde.

Bis dahin waren Excentriques aus Österreich nur vereinzelt bekannt. Diese Vorkommen, auf die erst kurz vorher H. TRIMMEL (1) aufmerksam gemacht hatte, lassen sich weder an Zahl noch an Formensreichum mit jenen der Excentriqueshöhle bei Erlach im südöstlichen Niederösterreich vergleichen. Als Fundorte in Österreich waren die Höhlen der Unterschaffleralpe im Hochoitz (Kärnten), die Grifflener Tropfsteinhöhle in Kärnten, das Kaiserloch bei Weiss (Steiermark) und die Odeltsteinhöhle bei Johnsbach sowie - mit etwas abweichenden und ziemlich stärker nicht mehr aktiven Formen - die Dachstein-Mammuthöhle bekannt. Wie weit die Lage der Höhlen oder die Beschaffenheit des Muttergesteines auf die Entstehung dieser Vorkommen Einfluß hatte, wurde bisher nicht näher untersucht.

Die Excentriquesvorkommen in der Excentriqueshöhle sind jedenfalls die ersten und bisher einzigen Vorkommen Österreichs, die dem Vergleich mit bekannten Höhlen im mehr oder minder mediterranen Klimagebiet - wie etwa die Grotte du Grand Roc bei Les Eyzies oder die von B. GEZE bearbeitete Höhle von Mentis (2) - nicht zu scheuen brauchen.

Die Excentriqueshöhle liegt etwa 60 km südlich von Wien in einem Gebiet, in dem nicht verkarstungsfähige Gesteine vorherrschen und in dem einzelne isolierte Kalksteine kennzeichnend sind. In diesen Kalksteigen beiderseits des Pittenales ist schon eine Reihe interessanter Tropfsteinhöhlen bekannt geworden. Nur etwa 50 Meter von der jetzt entdeckten Excentriqueshöhle liegt die schon seit langem bekannte Erlacher Tropfsteinhöhle. Beide Höhlen liegen im Bereich des Grundwasserspiegels und es ist wahrscheinlich, daß sie durch unregelmäßige Klüfte miteinander verbunden sind. Darüber werden allerdings erst regelmäßige Vergleichsmessungen an den in beiden Höhlen nicht unbeträchtlich schwankenden Wasserspiegel Aufschluß geben.





Kurt AUBRECHT

EXCENTRIQUES IN ÖSTERREICH  
UND DIE EXCENTRIQUESHÖHLE BEI ERLACH  
(NIEDERÖSTERREICH)

Wie wir alle wissen, spielt der Zufall auch in der Höhlenkunde eine große Rolle. Er war es auch, der der Forschergruppe Wiener-Neustadt des Landesvereines für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich im Jahre 1960 eine Höhle in den Schoß legte, die die Gruppe sofort und unerwartet vor neue Probleme stellte, deren Lösung ihre Möglichkeiten eigentlich überstieg. Es war jene Höhle, die jetzt als "Excentriques-höhle" bezeichnet wird, die 1960 bei Steinbrucharbeiten aufgeschlossen wurde.

Bis dahin waren Excentriques aus Österreich nur vereinzelt bekannt. Diese Vorkommen, auf die erst kurz vorher H. TRIMMEL (1) aufmerksam gemacht hatte, lassen sich weder an Zahl noch an Formenreichtum mit jenem der Excentriqueshöhle bei Erlach im südöstlichen Niederösterreich vergleichen. Als Fundorte in Österreich waren die Höhlen der Unterschäftleralpe im Hochobir (Kärnten), die Griffener Tropfsteinhöhle in Kärnten, das Katerloch bei Weiz (Steiermark) und die Odelsteinhöhle bei Johnsbach sowie - mit etwas abweichenden und ziemlich sicher nicht mehr aktiven Formen - die Dachstein-Mammuthöhle bekannt. Wie weit die Lage der Höhlen oder die Beschaffenheit des Muttergesteines auf die Entstehung dieser Vorkommen Einfluß hatte, wurde bisher nicht näher untersucht.

Die Excentriquesvorkommen in der Excentriqueshöhle sind jedenfalls die ersten und bisher einzigen Vorkommen Österreichs, die den Vergleich mit bekannten Höhlen im mehr oder minder mediterranen Klimagebiet - wie etwa die Grotte du Grand Roc bei Les Eyzies oder die von B. GÉZE bearbeitete Höhle von Moulis (2) - nicht zu scheuen brauchen.

Die Excentriqueshöhle liegt etwa 60 km südlich von Wien in einem Gebiet, in dem nicht verkarstungsfähige Gesteine vorherrschen und in dem einzelne isolierte Kalkzüge kennzeichnend sind. In diesen Kalkzügen beiderseits des Pittentales ist schon eine Reihe interessanter Tropfsteinhöhlen bekannt geworden. Nur etwa 50 Meter von der jetzt entdeckten Excentriqueshöhle liegt die schon seit langem bekannte Erlacher Tropfsteinhöhle. Beide Höhlen liegen im Bereich des Grundwasserspiegels und es ist wahrscheinlich, daß sie durch unschließbare Klüfte miteinander verbunden sind. Darüber werden allerdings erst regelmäßige Vergleichsmessungen an dem in beiden Höhlen nicht unbeträchtlich schwankenden Wasserspiegel Aufschluß geben.

In der Excentriqueshöhle tritt reiche Sinterbildung in den verschiedenen Formen auf. Excentriques sind sehr häufig. Überdies sind für diese Höhle auch die bizarr aufgelaugten, zum Teil scharfkantigen Höhlenwände charakteristisch, die oft wie Kulissen anmuten. Von der Decke und den Wänden gestürzte Gesteinsblöcke, Höhlenlehm, erdähnliche Zerfallsprodukte und Tropfsteine, die wahrscheinlich durch tektonische Einwirkungen abgebrochen sind, bilden die Sedimente.

Die Farbe des Gesteines weist in den einzelnen Räumen beträchtliche Unterschiede auf. Herrschen in den unteren Teilen der Höhle graugrüne und hellbraune Färbungen des Gesteins vor, so zeigt sich das Gestein in den oberen Räumen durchwegs rotbraun.

In der Höhle, deren bisher erforschten Umfang eine Gesamtlänge von 70 Metern zukommt, gibt es Zonen, in denen weder Excentriques noch andere Sinterformen zu beobachten sind. Am Beginn und am Ende der Höhle befindet sich je ein kleiner Höhlensee. Im klaren Wasser ist deutlich die Fortsetzung des jeweiligen Höhlenraumes zu erkennen. Auch Boden- und Deckenzapfen sieht man deutlich unter dem Wasserspiegel. Daraus kann man schließen, daß diese Höhlenteile zeitweise wasserfrei waren und sind, da ja sonst die Bildung von Tropfsteinen nicht hätte erfolgen können. Andererseits müssen, was verschiedene Ablagerungen am Höhlenboden und Auslaugungen an Wänden und Decke beweisen, heute wasserfreie Teile der Höhle lange Zeit unter Wasser gestanden sein.

Eine eigenartige Erscheinung ist der schwarze Belag, der alles in einer bestimmten Höhe, ziemlich scharf abgegrenzt, überzieht. Dieser Niederschlag dürfte in Zusammenhang mit einem über längere Zeit konstant gebliebenen Wasserspiegel stehen. Noch fehlt das Ergebnis der chemischen Untersuchung dieses Belages, der sich mühelos von allen Sinterbildungen abwaschen läßt.

Schon in der kurzen Zeitspanne, die zur Beobachtung in der Höhle zur Verfügung stand, wurde festgestellt, daß das rasche Wechseln des Wasserstandes nicht viel mit äußeren wetterbedingten Veränderungen zu tun hat. In Zusammenhang damit möchte ich auf eine Erscheinung hinweisen, die vielleicht für Bildung oder Zersetzung von Excentriques von Bedeutung sein kann. Ist der Wasserspiegel im Fallen begriffen, so beginnen auch die Excentriques und die freien Gesteinsflächen um die Excentriques herum Wassertropfen anzusetzen. Ist der Wasserstand ansteigend, so klingt diese Erscheinung wieder ab. Leider ist nicht feststellbar, ob diese Vorgänge auch zu der Zeit in gleicher Weise abliefen, als die Höhle nach außen hin vollkommen abgeschlossen war.

Sicher ist auch die Kapillarität des Gesteines für die Excentriquesbildung von Bedeutung. Die meisten dieser Gebilde treten allerdings nicht direkt aus dem Muttergestein hervor, sondern sitzen auf Sinterleisten, Sinterröhrchen, Boden- oder Deckenzapfen auf.

Wie weit die bisherigen Beobachtungen mit der Bildung von Excentriques in Verbindung gebracht werden können, wird sich erst später feststellen lassen. Die Excentriques der Excentriqueshöhle bestehen aus Kalzit; mineralogische Untersuchungen sind bisher noch nicht erfolgt.

Vielleicht wird es noch Jahre dauern, bis das Rätsel Excentriques gelöst werden wird. Möglicherweise liegt aber die Lösung näher, als wir annehmen. Es mag sein, daß wir nur zu wenig speläo-logisch denken.

#### Literatur:

- 1) H. TRIMMEL, Funde von "Excentriques" in Österreich. Mémoires du Colloquium International de Spéléologie de la Fédération Spéléologique de Belgique, Bruxelles 4 - 6 juillet 1958. p. 31 - 36.
- 2) B. GÈZE, Les cristallisations excentriques de la grotte de Moulis. 21 p., 90 Abb., Paris 1957.



Fig.1. Excentriques auf einer Wandsinterbildung. Etwas verkleinert.

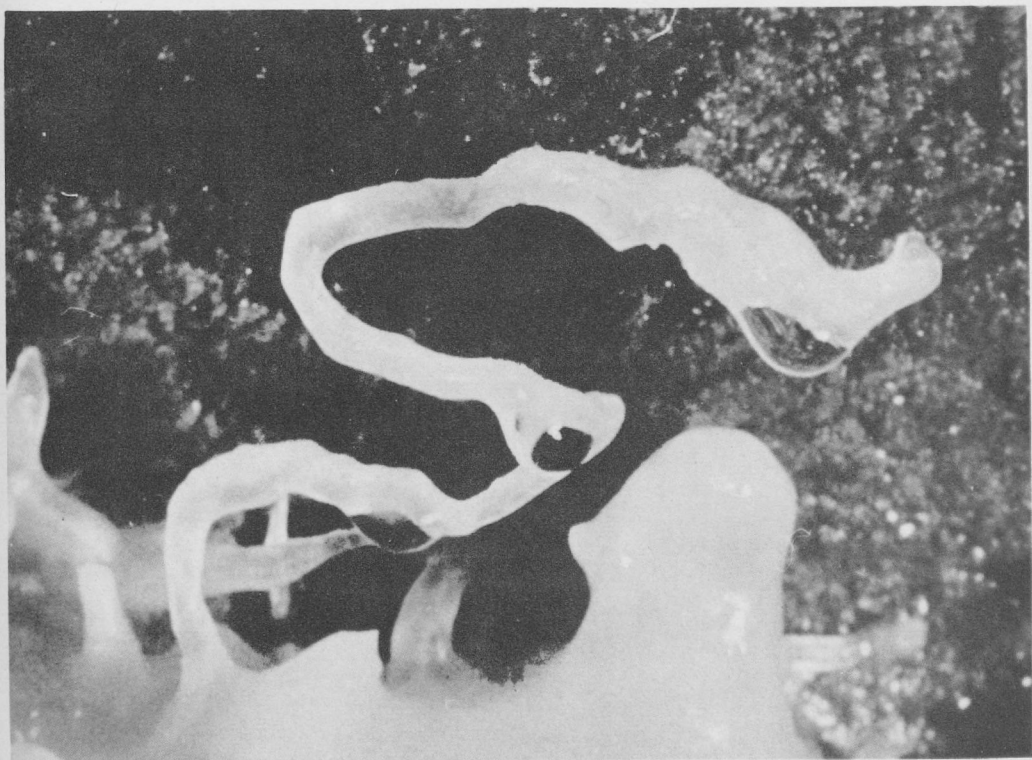


Fig.2. "Excentrique" mit anhaftenden Wassertropfen. Excentriqueshöhle.





Fig. 4. Sintergebilde aus Kalzit mit zahlreichen spießartigen Auswüchsen von Excentriques.  
Alle Fotos: Kurt Aubrecht

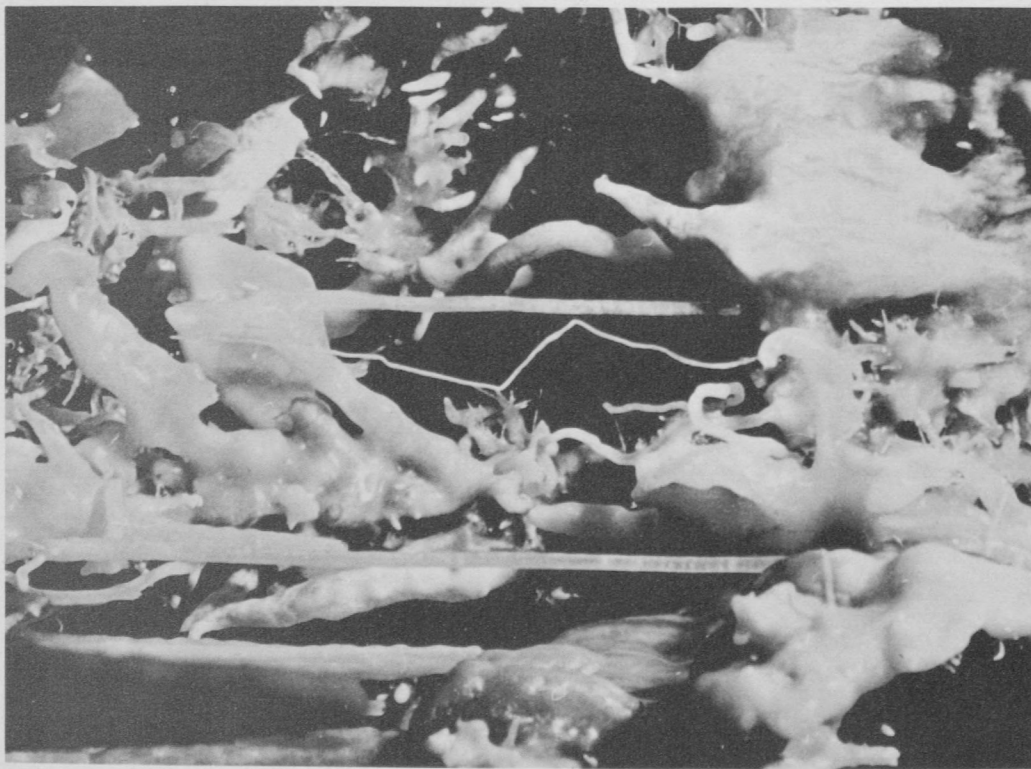


Fig. 3. Tropfröhrchen, Wandversinterungen und Excentriques in der Excentriqueshöhle. Beachtenswert sind die "Filiformes". Höhe des abgebildeten Wandstückes in der Natur ca. 25 cm.



## Diskussion.

**BÖGLI:** Die schwarze Schicht setzt sich aus der Höhlenluft nieder und besteht auf Grund mikroskopischer Untersuchungen aus organischer Substanz, vorwiegend aus Bakterien. Sie ist eine allgemeine Erscheinung inaktiver Höhlen. - Deckenkolke entstehen häufig durch Korrosion austretenden Wassers ungenügenden Kalkgehaltes (vgl. A. BÖGLI: Korrosive Bildungsbedingungen von Höhlenräumen). Wenn sich oberirdisch nun das Klima ändert, kann durch Bodenbildung das ursprünglich kalkarm einsickernde Wasser so kalkreich werden, daß es nach Druckfließen beim Austritt aus der Kluftspalte Kalk ausscheiden kann. Dadurch kommt es zur Ausbildung von Kalkausscheidungen.

**HABE:** Auch in der Postojnska Jama und im Höhlensystem von Predjama gibt es solche schwarze Konkretionen (Crna jama, Crna dvorana), sowohl auf dem Gestein als auch auf Sinterablagerungen. Diese hielt man ursprünglich für Manganverbindungen, doch stellte sich heraus, daß diese Kruste organischer Herkunft ist.

**HELLER:** Als einziges Exemplar eines Excentrique fand sich in der Petershöhle bei Velden in Mittelfranken vor etwa zehn Jahren ein Gebilde, welches völlig horizontal aus einer senkrechten Wandfläche herausragte, hakenförmig nach oben abbog und in Skalenoederflächen endete. Die Bildung dürfte als abgeschlossen gelten können. Für die Entstehung von Excentriques wird vermungsweise die Mitwirkung von Organismen (eventuell Bakterien) verantwortlich gemacht.

**BLEICH:** Excentriques sind keine Tropfsteine, sondern Kristallsäulen mit verkantetem Weiterwachsen. Diese Säulen werden sekundär unter Kondenswasser mit winzigen Kristallen und schließlich einer glasigen Schicht überzogen.

**WARWICK:** In the U.S.A., George MOORE has found these helictites in California. Here the marked dry season is reflected in the atmosphere of the caves. The dryness allows of evaporation to take place and so crystallisation, unaffected by gravity, can take place as Dr. BLEICH has shown. I wish to ask whether the humidity is less than 100% in this cave to permit evaporation to take place. Secondly I wish to ask if cave bubbles have been found beneath the calcite rafts in the surface of the pools. In Dudley Limestone Mines in England I have found calcite deposited on air bubbles. The air is formed by drips of water falling into the water.

**PIRKER:** Zu der Anfrage von Mr. WARWICK möchte ich folgendes feststellen: In dem aufgelassenen Gipsbergwerk "Seegrotte" in der Hinterbrühl (Niederösterreich) waren vor der Erschließung als Schauobjekt auf allen Wasserflächen reichlich Ausscheidungen von "Kalzithäutchen" vorhanden, von freischwimmenden Blättchen bis zu kompakten Decken. Es wurden häufig an ihrer Unterseite Luftblasen beobachtet, die bei längerem Bestand von einem zarten Kalkmantel umkleidet wurden. Sammelstücke, die solche konservierte Luftblasenformen zeigten, sind leider während der Kriegsereignisse zerstört worden.

**BÖGLI:** Die Untersuchungen von George MOORE in Amerika haben ergeben, daß in Exzentriken entweder eine parallele oder eine subparallele Verwachsung der Rhomboeder-, bzw. Skalenoederachsen vorliegt. Herr BLEICH möchte die Exzentriker nicht als Tropfsteine ansprechen. Das ist eine Frage der Definition, vor allem, da auch die Tropfsteine kristallin sind, teilweise Einkristalle.

**FRANKE:** Sicher ist die Bildung von Excentriques auf verschiedene Weise möglich. Ich möchte aber doch eine Hypothese zur Diskussion stellen, die den Formenschatz der Excentriquehöhle erklären kann. Ich setze voraus, daß die Sinterbildung unter dünnen abrinnenden Wasserschichten, die mit Luft im

CO<sub>2</sub>-Austausch stehen, zu einem bestimmten, bekannten Formenschatz führen, dessen gestaltende Kraft die Gravitation ist. Aus den Bildern ist zu sehen, daß diese Entstehungsart zeitweise am Werk war, denn an manchen Excentriquesformen setzen unmittelbar senkrecht stehende Zapfen an. Da sich "Excentriquesformen" auch bei anderen Abscheidungsverfahren bilden, nämlich dann, wenn diese unter Wasser verlaufen, so liegt es nahe, auch für Excentriques, die sich dem formenden Gravitationseinfluß offenbar entzogen haben, auch Bildung unter Wasser in Erwägung zu ziehen. Da Ausscheidung aus gesättigten Lösungen, die CO<sub>2</sub> in die Luft abgeben, zu flächenhaftem, an der Grenzfläche Wasser - Luft verstärktem Kristallbelag führen muß, dies aber hier offenbar nicht zutrifft, könnte man aus Klüften unter Wasser austretende hochkonzentrierte Kalklösungen als Ursache annehmen. Dadurch erhielten einzelne an Klüfte gebundene Stellen erhöhte Kalkkonkretionen, die sie letzten Endes durch Ausscheidung verlieren müssen, wenn sich das CO<sub>2</sub>-Gleichgewicht mit der Luft, der eigentliche Antrieb der Ausscheidung, einstellt. Da die spezifischen Gewichte der dünneren und der konzentrierteren Lösungen nur wenig voneinander abweichen, werden die Tropfen konzentrierter Lösung nicht wie bei der Sinterbildung in der Luft direkt und sofort nach unten gezogen, sondern verteilen sich in der dünneren Lösung schwebend um die Austrittsstelle. Auf diese Art kann sich an einem schon gebildeten Kristall überall Kalk ansetzen und der formbildende Mechanismus, den Herr Dr. BLEICH skizziert hat, kann voll zur Wirkung kommen. Das ist bei der Sinterbildung an Luft nicht der Fall, denn obwohl dort an den Oberflächen der bereits gebildeten Kristalle die gleichen Kristallisationstendenzen wirken, kommt es überall dort zu keinem Weiterwachsen, wo kein benetzender Lösungstropfen hinkommt.

GEZE: Je demande si l'auteur a eu l'occasion de voir croître les concrétions excentriques. En effet, dans la grotte de Moulis (Laboratoire souterrain français), leur surveillance depuis 10 ans n'a, jusqu'à maintenant, permis de distinguer aucune croissance sensible. Il serait intéressant d'observer quelque part la vitesse possible. - Du point de vue mineralogique, il semble qu'il n'y ait rien à ajouter à l'étude fondamentale de PRINZ: les excentriques, malgré leurs formes, sont presque toujours des monocristaux de calcite; elles sont parcourues par de fins capillaires qui apportent les solutions bicarbonatées; la croissance se fait normalement en direction des lieux d'évaporation maximale (ce qui explique notamment les formes tournantes dans les endroits où existent de micro-circuits de convection pour les courants d'air). - Dans les cas d'alimentation capillaire, il semble que les formes excentriques soient absolument normales. Elles ne posent pas d'avantage de problèmes que les stalactites et stalagmites considérées comme plus habituelles (celles-ci étant seulement commandées par une alimentation plus abondante et non capillaire).

BLEICH: Beim Kristallwachstum ist nicht die Schwerkraft entscheidend, sondern die Wachstumsfläche. Der innere Aufbau der Tropfsteine ist nicht immer ursprünglich, sondern es erfolgt Sammelkristallisation.

AUBRECHT: Ich möchte nochmals darauf hinweisen, daß die Excentriqueshöhle bis vor kurzem von der Außenwelt vollkommen abgeschlossen war. Es wird jetzt zu beobachten sein, wie die Entwicklung weitergeht; man muß sich aber dessen bewußt sein, daß die Höhle nun doch auch an der äußeren Luftzirkulation stärker teilnimmt als dies vor ihrer Aufschließung der Fall war.

SEKTION I

Heinz ILMING

DIE LETZTEN FORSCHUNGSERGEBNISSE  
AUS DER DACHSTEIN - MAMMUTHÖHLE

Wenn nun kurz von den Ergebnissen der Dachstein-Mammuthöhlen-Expeditionen der letzten drei Jahre berichtet werden soll, so werde ich versuchen, ein Bild von den Teilen der Mammuthöhle zu geben, welche nur durch den fast 100 m tiefen Theseus-Schacht zugänglich sind. Dieser Schacht und der an seinem Grund ansetzende Minotaurusgang wurde im Jahr 1913 von Hermann BOCK und Gefährten erstmals befahren und 1923 von einer Expedition unter Oberst Franz MÜHLHOFER eingehender untersucht und teilweise vermessen. Leider sind die meisten Ergebnisse in der Zeit um den Zweiten Weltkrieg verlorengegangen.

Als nun im Zuge der Neuvermessung der Mammuthöhle im Jahre 1959 das Windstollenlabyrinth an die Reihe kam, war der Zeitpunkt, wieder den Theseus-schacht zu befahren, gekommen.

Der Minotaurusgang, der über einen Kilometer in fast gleichbleibenden Dimensionen nach Süden führt, verläuft nur im nördlichsten Drittel fast horizontal, hzw. gleichen sich Gefälle und Steigungen aus. Dann beginnt er jedoch stetig in einem Winkel zwischen 20 und 30° anzusteigen, sodaß man, noch ehe man das Satanslabyrinth erreicht, sich wieder bedeutend höher befindet, als vor dem Schachtabstieg. Die Expedition 1959 bewegte sich zwar fast nur auf den Spuren der Forscher von 1923, führte jedoch die Wiedervermessung von über 1 1/2 km Ganglänge durch. Dabei wurde deutlich, daß dieser Höhlenteil noch reich an unerforschten Fortsetzungen ist.

Die ersten Vorstöße, bei denen Neuland betreten wurde, brachte die Expedition 1960. Nach Überquerung eines Schachtes am Süden des Satanslabyrinthes betraten wir den gewaltigen schlotartigen Himmelsdom und die große Südkluft, deren Raumform stark vom Charakter der anderen Höhlenteile um den Minotaurusgang abweichen. Ein Versuch, das Ende der sogenannten "Höllentreppe" zu erreichen, blieb zwar, ebenso wie schon 1923, buchstäblich im fast flüssigen Höhlenlehm stecken, doch wurde bei diesem Anlaß der Zugang zu einem besonders schönen Labyrinth von Röhren und Räumen mit wunderbar entwickelten Kolken entdeckt. Allein dieser Teil, jetzt "Wiener-Labyrinth" genannt, hat eine vermessene Ganglänge von über 600 m.

Die Forschungsfahrt des heurigen Jahres führte zuerst zur Entdeckung von mehreren schichtgebundenen Räumen, die das Gebiet zwischen Satanslabyrinth und Südkluft um- und überlagern. Damit ergibt sich auch in diesen Teilen ein

Bild stärkster Aushöhlung auf engstem Raum, wie es für die Dachstein-Mammuthöhle so typisch ist. Als schließlich der sogenannte "Mühlhofer-Dom" im Abstieg vom Gotengang nach 38 Jahren wieder betreten und neu vermessen werden sollte, wurde die überraschendste Entdeckung dieser Fahrt gemacht. Durch eine Öffnung in dem Versturz, der den Mühlhofer-Dom in seiner ganzen Breite bedeckt, wurde ein großräumiges Gangsystem, jetzt "Atlantis" genannt, betreten. Die derzeitigen Endpunkte dieses Systems sind zwei Schächte, die eine von imposanten Ausmaßen, der andere mit deutlicher Wetterführung..

Wenn man zusammenfassend die Raumformen dieser Höhlenteile betrachtet, ergibt sich eine überwältigende Vorherrschaft schichtgebundener Räume, deren Neigung den gegen NNO bis NO einfallenden Schichtpaketen des Dachsteinkalk folgt. Selbst Räume von reifem Gewölbetypus und solche, die ihre Entstehung zumindestens teilweise Klüften verdanken, weichen oft nicht von dieser Neigung ab. Die meisten nicht raumformbestimmenden Klüfte, die im Bereich des Satanslabyrinth gemessen wurden, pendeln in die Richtung West - Ost. Eine Klufräume bildende Störung zieht vom Irrgarten südwärts und dürfte sich genetisch in der Südkluft fortsetzen.

Von den Kleinformen dieses Höhlenteiles sei zuerst über die Bedeckung des Bodens mit Höhlenlehm gesprochen. Vom zähflüssigen Zustand in blind endenden Gängen oder größeren Räumen, in denen die Wetterführung an der Decke streicht, bis zum tiefrissigen Polygonboden schönster Prägung in den Gängen mit Wetterführung sind alle Stadien dieses Austrocknungsprozesses zu beobachten. Interessante Ausnahmeerscheinungen sind die Bildung von Lehmpyramiden unter Tropfstellen, sowohl aktiv als inaktiv, und die oberflächliche vollkommene Schwarzfärbung des Plattenbodens in weiten Höhlenteilen, deren Ursache noch zu klären ist. Wie sich die fast steinharten Althöhlenlehme, die wir heuer in Kolken deponiert fanden, in das Bild einer Genese der Höhlenräume einordnen lassen, wird vielleicht interessante Probleme aufwerfen. Daß in einer gewissen Phase in einigen Höhlenräumen gipshaltige Lösungen eingedrungen sind, zeigen faserige Ausblühungen auf den Plattenböden. Ein großer Schichtraum des Wienerlabyrinthes wird von ihnen streifig in Fließrichtung durchzogen. Dort kommt es sogar zur Ausbildung von freiliegenden, zusammengesetzten rhombischen Gipskristallen bis über 2 cm Länge in den Vertiefungen des Bodens.

Nicht unerwähnt sollen die vielen Fundstellen von Bohnerzen bleiben, die sich immer an die Eintrittsstelle der Gewässer, die meist aus Schloten kommen, knüpfen. Nur im Raum des Wienerlabyrinthes fanden sich Bohnerze und Augensteine mit halbtrockenem Lehm vermengt zu kleinen Kegeln gehäuft unter Schloten, die in die Schichträume führen. Der sogenannte "Bohnerzbach" im Wienerlabyrinth fließt, aus einem Cañon kommend, ein Stück durch einen niederen Gang, dessen Entstehung eindeutig den schichtgebundenen Räumen des Wienerlabyrinthes entspricht. Er hat hier sein Bett mit braunglänzenden Bohnerzen fast gleicher Größe ausgelegt. Dieser Wasserlauf ist insofern interessant, als er durchgehend ca. 60 m zu verfolgen ist, ehe er in einem Syphon verschwindet. Kein anderes Gewässer der Mammuthöhle läßt sich auf einem so abwechslungsreichen Weg beobachten. Zum Abschluß seien aktive Sinterbildungen u. z. dicht hängende Stalaktiten, wie sie sonst in keinem Teil der Mammuthöhle zu finden sind, erwähnt. Im sogenannten "Stalaktitenregen" finden sich auch schön entwickelte Excentriques. An den der Wetterführung zugekehrten Seiten fossiler Stalaktiten, die ebenfalls häufig sind, kommt es zur Ausbildung von Perl- und Lehmsinter von rauhereifartigen Formen. Geradezu wuchernd überzieht Korallensinter jene Wandflächen der Höhlenräume, die außer, daß sie der Wetterführung verstärkt ausgesetzt sind, z. B. an Engstellen, eine gewisse Bergfeuchte aufweisen.



Hubert TRIMMEL

## DIE NEUBEARBEITUNG DER DACHSTEIN-MAMMUTHÖHLE UND EINIGE BEMERKUNGEN ÜBER SCHICHTENGEBUNDENE HÖHLENRÄUME

(Mit einem Höhlenplan)

Die Dachstein-Mammuthöhle ist seit ihrer Entdeckung vor einem halben Jahr<sup>hundert</sup> stets eines der wenigen Höhlensysteme in den österreichischen Alpen gewesen, das im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Diskussionen über Fragen der Speläogenese stand. Die Erforschungsgeschichte ist in großen Zügen an anderer Stelle bereits veröffentlicht worden. Die wissenschaftlichen Arbeiten, die über die Dachstein-Mammuthöhle vorliegen, stützen sich im wesentlichen auf den seinerzeit von Rudolf SAAR veröffentlichten Plan und teilweise auch auf den Plan, den später Robert OEDL aufgenommen hat und der erst nach 1945 in einer Schrift von Georg LAHNER auszugsweise der Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden ist.

Die in Österreich nach dem zweiten Weltkriege eingetretene Belebung der Diskussionen über die Phasen der Höhlenentwicklung und über die Zusammenhänge zwischen Höhlenbildung und Hochgebirgsmorphologie haben in breiten Kreisen, die an der Speläologie interessiert sind, den Wunsch nach einer Neubearbeitung der Höhle mit modernen Methoden wach werden lassen. Die vorliegende Arbeit soll und kann kein abschließendes Bild über diese als Gemeinschaftsarbeit erfolgende Neubearbeitung bieten; sie hat lediglich den Zweck, die bisherigen Ergebnisse an Hand des neu aufgenommenen Höhlenplanes zu zeigen und zugleich den Besucher der Höhle auf die wichtigsten Probleme dieses Systems aufmerksam zu machen.

Die Neubearbeitung der Dachstein-Mammuthöhle basiert auf einem Theodolit<sup>zug</sup>, der durch die Hauptgänge gelegt wurde und als Grundgerüst für den im Maßstab 1:500 aufgenommenen Höhlenplan diente. Die Herstellung des Theodolit<sup>zuges</sup> erfolgte mit tatkräftiger Unterstützung durch das Speläologische Institut in erster Linie durch Bruno WAGNER und K. JIRSCHIM.

In einer bisher rund zehnjährigen Forschungsperiode - wobei jährlich mindestens eine Woche den Arbeiten in dieser Höhle gewidmet wurde - ist es seither gelungen, rund 15 Kilometer Gangstrecken exakt zu vermessen und im Plane festzuhalten. Es wurde dabei, der in der österreichischen Speläologie üblichen Gepflogenheit entsprechend, eine exakte Grundrißdarstellung der Raumbegrenzung vorgenommen und auf eine exakte Einzeichnung der Höhlensedimente, Neigungsverhältnisse und Einzelformen Wert gelegt.



Allgemein zugänglich und als Schauhöhle erschlossen ist im wesentlichen nur der im Vergleich zum Gesamtsystem kleine Nordostteil der Höhle zwischen dem Osteingang und dem Mitternachtsdom. Vielfach ist aber der Eindruck, den dieser eine Höhlenteil auf den Besucher macht, als ausschließliche Grundlage für Meinungsäußerungen zu Fragen der Speläogenese herangezogen worden; es ist vor allem die Paläotraun, die als bedeutendster unterirdischer Raum die Aufmerksamkeit der Speläologen gefunden hat. Es ist daher nicht überraschend, daß die Paläotraun als Modell und als typisches Beispiel für fast alle Theorien über Höhlenbildung hingestellt worden ist, die im alpinen Raum je Bedeutung erlangten. So sehen sowohl die Höhlenflußtheorie von H. BOCK als auch die Gebirgsdrucktheorie von W. BIESE im Erscheinungsbild der Paläotraun eine Bestätigung für die Gültigkeit ihrer Theorie, so sehr ihre Ansichten auch voneinander abweichen.

Gerade diese Vielfalt der Meinungen, die über die Genese und Morphologie der Paläotraun bestehen, hat aber den unmittelbaren Anstoß zur Neubearbeitung der Dachstein-Mammuthöhle gegeben, bei der nun alle speläologischen Erscheinungen möglichst vollständig und möglichst vielseitig erfaßt werden sollen. Die derzeit laufenden Arbeiten werden einerseits vom Verband österreichischer Höhlenforscher und da vor allem von den Wiener Höhlenforschern und andererseits von der Sektion Edelweiß des Österreichischen Alpenvereins in einer vorbildlichen Zusammenarbeit durchgeführt.

Einige der Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen an dieser Stelle zur Diskussion gestellt werden. Die Vermessung der Dachstein-Mammuthöhle hat gezeigt, daß eine starke Abhängigkeit des Verlaufes der einzelnen Teillabyrinth der Höhle nicht nur von der Klüftung, sondern vor allem von der Schichtung des Dachsteinkalkes besteht, der die Höhle aufbaut. Es stehen zweierlei Raumtypen einander gegenüber: der langgestreckte, gangartig entwickelte klüftgebundene Raum, der entlang von Klüftscharen entwickelt ist, und das Gangsystem, das an den Schichtfugen der Dachsteinkalkbänke angeordnet ist. Ob der Ausdruck "Schichtfugen" im engeren Sinne dafür berechtigt ist, erscheint fraglich.

Der obertriadische Dachsteinkalk, in dem die Dachstein-Mammuthöhle liegt, und der mit einer Mächtigkeit von mehr als 1500 Metern den Dachsteinstock im wesentlichen aufbaut, ist im Höhlenbereich flach nach Norden einfallend und deutlich gebankt. Er erscheint äußerlich homogen, ist aber - was in der geologischen Karte nicht zum Ausdruck kommt - in seiner Zusammensetzung und in seinem Chemismus durchaus nicht einheitlich, sondern zeigt eine gewisse Rhythmik. In Abständen, die zwischen 10 und 20 Meter betragen, ändert sich für schmale "Zwischenschichten" der Charakter des Gesteins und es sind Zwischenschichten eingeschaltet, die offenbar einen höheren Dolomitanteil aufweisen. Die "dolomitischen Zwischenlagen" verhalten sich nun im Falle der Höhlenbildung anderes als die meist stärkeren Kalkbänke dazwischen. Sie begünstigen (teils auch durch die Tendenz zu grusiger oder kleinsplittriger Verwitterung) die Ausbildung von Rundprofilen in den schichtengebundenen Räumen und fördern auch die seitliche Ausweitung der flachen Höhlengänge durch stärkere Abwitterung und "Rückwärtigung der Seitenwände gegenüber dem darüber oder darunter liegenden Kalk. Im weiteren Verlauf führt diese Entwicklung dazu, daß die einzelnen Höhlengänge "zusammenwachsen" und zwischen den Gängen nur noch "Pfeiler" als unzersetzte und unzerstörte Reste dieser ursprünglich einheitlichen Zwischenlage stehen bleiben. Es entstehen typische Labyrinth.

Die Vermessung hat ergeben, daß derartige Labyrinth immer wieder in mehr oder weniger gleichen Abständen übereinander liegen und gewissermaßen unabhängig voneinander, nur durch Schachtstrecken miteinander verbunden, den Mittagkogel durchziehen. Als typische Beispiele einer derartigen schichtengebundenen Labyrinthentwicklung können das Windstollenlabyrinth und das Weiße Labyrinth (im Alten Teil der Mammuthöhle) gelten. Man kann dort mit guten Gründen der Meinung sein, daß diese etagenweise übereinander liegenden Gangsysteme immer wieder an die rhythmisch abgelagerten, leichter verwitterbaren Zwischenlagen des Gesteins mit höherem Dolomitgehalt gebunden sind. Selbstverständlich bedarf es noch genauerer Untersuchungen und vor allem einer ausreichenden Anzahl von Gesteinsanalysen, um diese Ansicht zu er-

härten und ihre Berechtigung erweisen zu können. Dafür spricht meines Erachtens, daß die labyrinthische Breitenentwicklung eines Teilsystems immer dort auftritt, wo der Verlauf der Höhlenräume dem Schichtverlauf folgt, und daß gerade in diesen Räumen das Rundprofil dominiert.

Der Aufriß der Dachstein-Mammuthöhle zeigt, daß neben einer Reihe von "Nebenhorizonten" drei übereinanderliegende Haupthorizonte vorhanden sind, die alle dem Schichtverlauf folgen. Nur an einer einzigen Stelle ist durch den Theseusschacht, der das Windstollenlabyrinth mit dem Minotaurusgang verbindet, der Einstieg in ein viertes, das derzeit tiefste Hauptsystem, möglich. Da sich auch in diesem System das dem Schichtverlauf übliche Ansteigen gegen Süden zeigt, sind die südlichsten Teile dieses Systems (Minotauruslabyrinth), soweit es sich um schichtengebundene Räume handelt, in größerer absoluter Höhe als die nördlicheren und daher tieferen Teile der höher liegenden Höhlenstockwerke.

Betrachtet man das Gesamtsystem und seine Anlage, so wird sofort offenbar, wie überaus problematisch die Zuordnung der Dachstein-Mammuthöhle zu einem bestimmten Talniveau oder zu einer bestimmten Phase der fortschreitenden Verkarstung innerhalb des Dachsteinstockes sein muß. Es scheint sich eine vielphasige Entwicklung des Höhlensystems abzuzeichnen, deren Ablauf vielleicht erst durch langwierige vergleichende Untersuchungen der Sedimente und des Kleinformenschatzes der Gänge einigermaßen aufgezeigt werden kann. Sicher ist, daß Raumformen verschiedenen Alters nebeneinander und miteinander auftreten und daß neben verhältnismäßig stabilen Raum- und Gangprofilen auch labile, veränderliche Höhlenteile auftreten.

Daß auch die Sedimentfüllung viele Probleme aufwirft, läßt schon das Beispiel der großen Massen an Konglomeraten erkennen, die in manchen Höhlenteilen - besonders zwischen dem Dom ohne Namen und dem Dom der Vereinigung - auftreten. Es handelt sich um ausgedehnte und teilweise recht mächtige Konglomeratbänke, die früher als Ablagerungen eines unterirdischen Flusses angesprochen worden sind, die später zu Konglomeraten verkittet wurden. Ich bin der Meinung, daß es sich um Moränenmaterial handelt, das unter Mitwirkung von Schmelzwässern von oben her in die bereits vorhandene Höhle hereingebracht worden ist und einzelne Höhlenabschnitte wenigstens zeitweise vollständig ausfüllte. In der Konglomerathalle werden noch heute nicht nur Sohle und Wände der Halle, sondern auch die Decke von diesen Konglomeraten gebildet. Am Ende des Doms ohne Namen gegen Westen zeigen die Konglomerate bei einer Mächtigkeit von rund 5 Metern eine recht deutliche Schichtung, im Aufschluß sind sogar Sinterschichten (in Form dünner Sinterdecken) innerhalb der Konglomeratmasse erkennbar. Die Ablagerung ist demnach offenbar in einzelnen (vorübergehenden Hochwasser ?-) Phasen vor sich gegangen, die durch (klimatisch günstigere) Perioden der Verkittung und Verfestigung durch Sinterbildung unterbrochen waren. Über die zeitliche Zuordnung sowohl der Sedimentation als auch der Verfestigung ist jedoch meiner Meinung nach eine eindeutige Aussage derzeit nicht möglich.

Wenn es sich um Moränenmaterial handelt, kann aus der Tatsache des Vorhandenseins nur darauf geschlossen werden, daß der Höhlenraum zum Zeitpunkt der Einschüttung der Sedimente schon in annähernd der Form vorhanden war, die uns in der Mammuthöhle auch heute entgegentritt. Es läßt sich demnach ein Mindestalter der Höhle ableiten.

Eine der noch zu untersuchenden Fragen ist auch jene nach der raumgestaltenden Wirkung, die das in früheren Phasen der Höhlenentwicklung vielleicht weiter als heute verbreitete Höhleneis in den einzelnen Teilen der Dachstein-Mammuthöhle entfaltet hat.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die heutigen Raumformen zweifellos das Ergebnis einer Entwicklung sind, die zumindestens durch wesentliche Teile des Eiszeitalters und die ganze Nacheiszeit hindurch andauert hat. Aus den heutigen Raumformen kann weder auf den Zeitpunkt noch auf die Art der Entstehung ohne weiteres geschlossen werden. Darüber geben vielleicht einzelne erhalten gebliebene ursprüngliche Restformen Aufschluß, deren Erkennen und Unterscheidung von jüngeren Formen

aber derzeit kaum noch möglich ist. Die vielen Möglichkeiten zur Untersuchung des Entwicklungsablaufes eines alpinen Großhöhlensystems, die sich gerade in der Dachstein-Mammuthöhle ergeben, berechtigen und verpflichten wohl zur Weiterführung der Forschungsarbeiten.

### Diskussion.

**BÖGLI:** Ich möchte hervorheben, daß außer den Vertikalhöhlenteilen nahezu alle Gänge in der Lage durch die Schichtfugen bestimmt werden. Die einzelnen Systeme liegen nur scheinbar übereinander. Genetisch, bzw. chronologisch gleichzeitig entstandene Gangteile sind in den verschiedenen Systemen in ähnlicher Höhe anzutreffen. Es wäre daher zu untersuchen, ob und wie viele Bildungsphasen pro System erkennbar sind, ob eine Parallelisierung möglich ist und ob in diesem Falle unsichere Zuordnungen gesichert werden können.

**FRANKE:** Ergänzend sei auf eine gemeinsam mit H. ILMING und K. SCHNEIDER gemachte Beobachtung bei der Mammuthöhlen-Expedition 1961 hingewiesen, derzufolge cañonartige Einschnitte, die an der Sohle rund profilierter Gänge in die Tiefe einschneiden, in der Mammuthöhle besonders tief werden. Auf Grund einiger lokaler Besonderheiten ergibt sich, daß es sich um jüngere Bildungen handelt. Sie reichen selbst bei Hochwassersituation zur Ableitung der unterirdisch abfließenden Wässer aus. - Im Theseusschacht befindet sich z.B. eine Stelle, wo der Eintiefung dadurch ein Ende gesetzt war, daß der Cañon die Decke einer tieferen Gangstrecke anschnitt, so daß das Wasser dort zur Reaktivierung eines älteren, trockenen Ganges führte.

**GRESSEL:** In diesem besonders komplizierten Höhlensystem sind natürlich auch die Zirkulationsverhältnisse von großem Interesse und ich möchte daher fragen, wie weit Zirkulationsbeobachtungen durchgeführt wurden, ob entsprechend der Kompliziertheit des Systems auch verschiedene Zirkulationssysteme festgestellt werden konnten. Es wäre möglich, daß in Bezug auf die Luftzirkulation ein Hauptsystem mit Nebensystemen vorliegt oder aber daß mehrere voneinander nahezu unabhängige Systeme festzustellen sind.

**TRIMMEL:** Die Zuordnung der "Etagensysteme" zu bestimmten Niveaus erscheint mir infolge der beträchtlichen tektonischen Beanspruchung des Dachsteinkalkes sehr schwierig. Die Abhängigkeit der Raumentwicklung von den dolomittischen Zwischenlagen im Dachsteinkalk ist in den beiden Almberg-Eishöhlen, die über der Dachstein-Eishöhle liegen und sich etwa 300 Höhenmeter darüber erstrecken, noch deutlicher zu erkennen als in der Dachstein-Mammuthöhle. Im Bereich der Hochfläche zwischen Almberg und Hirberg östlich oberhalb der Dachsteinhöhlen drückt sich der stete Wechsel im Gesteinscharakter auch in der verkarsteten und kahlen Karstoberfläche eindeutig erkennbar aus.

Über die Beziehungen zwischen Schichtung, stratigraphischem Bau und Höhlenbildung werden im ostalpinen Karst noch viele Beobachtungen gesammelt werden müssen. Ich bin der Meinung, daß die speläogenetischen Untersuchungen gerade in diesem durch die alpin-orogenetischen Vorgänge und durch eiszeitliche Überformung mit einer wechselvollen Entwicklung versehenen Karstgebiet auf besondere Schwierigkeiten stößt und viele Probleme aufwirft.

In Bezug auf die Zirkulation der Höhlenwetter ist festzustellen, daß die Mammuthöhle kein einheitliches System bildet. Es sind offenbar mehrere Hauptwetterwege vorhanden. Der Nordostteil der Höhle scheint zirkulationsmäßig vom Westteil, der eine eigene Tagöffnung besitzt, vollständig getrennt zu sein. Ein Hauptwetterweg vom Westeingang zum Osteingang, dessen Annahme bei der Gestaltung dieses Höhlensystems naheliegend wäre, besteht jedenfalls nicht. Dagegen ist im westlichen Teil der Höhle eine lebhafteste Zirkulation vom Windstollenlabyrinth durch den Dom der Vereinigung zum Westeingang nachgewiesen.

Bemerkenswert ist, daß der Hauptwetterweg im Dom der Vereinigung auf dem kürzesten Weg an dessen westlicher Begrenzungswand entlangstreicht, während schon 3 Meter von dieser Wand entfernt im gleichen Dom keinerlei Luftbewegung mehr wahrnehmbar ist. Durch künstliche Eingriffe, wie Abdichtung eines Ganges mit einfachsten Mitteln, kann eine Änderung des Hauptwetterweges herbeigeführt werden. Eine genauere Untersuchung der Zirkulationsverhältnisse ist infolge der Kompliziertheit des Höhlensystems nicht leicht durchzuführen.

SAAR: Die Verschiedenartigkeit der die Raumgestaltung beeinflussenden Faktoren ist aus dem Höhlenplan schon auf den ersten Blick daraus zu erkennen, daß die einzelnen Höhlenteile auch in der Grundrißdarstellung verschiedenen Eindruck hervorrufen.

Im Mittelteil und im Nordostflügel der Mammuthöhle tritt neben Schichtfugen und Klüften als Leitlinien auch noch eine staffelförmige Verwerfung als spekläogenetischer Faktor auf, der auf die Anlage des Systems bedeutenden Einfluß hat. Diese staffelförmige Verwerfung entspricht einem gleichartigen Absinken der Gesteinsschichten, bzw. Gesteinspartien gegen Norden.

Der Südwestflügel der Mammuthöhle (Minotauruslabyrinth, 4. Etage) liegt nicht mehr unter dem vom zentralen Plateauteil gegen Norden vorgeschobenen Mittagkogel, sondern unter dem Dachsteinplateau selbst; dort folgt die Höhlenbildung wieder wesentlich dem Schichtverlauf.

Die Wetterführung ist zweifellos uneinheitlich. Wahrscheinlich ist die Höhle als oberstes Stockwerk eines großen dynamisch bewerteten Systems anzusehen. Im Mittelteil und im Nordostteil der Höhle kommt es zu keiner permanenten Eisbildung, da die Überlagerung der Höhle durch Gestein zu gering ist.

ILMING: Ich halte die aus dem Minotaurusgang durch das Windstollenlabyrinth führende Wetterführung für eine der bedeutendsten in der Dachstein-Mammuthöhle und möchte ergänzend feststellen, daß sich die Wetterführung von der zur Erleichterung der Forschungsarbeiten am Eingang des Windstollenlabyrinthes gebauten Wittertüre nicht einschränken ließ und sich einen neuen Weg durch Freilegung (Ausschmelzung) eines vorher eingeeisten Ganges zum Feenpalast schuf.

prédécesseurs, les chercheurs de l'Institut de Spéologie de l'Académie de la R. ont enregistré quelques succès qui ont conduit - entre autres choses - à la découverte et à l'exploration des plus grandes grottes de notre pays.

Dans ce qui suit nous signalerons les résultats les plus importants de ces travaux<sup>1)</sup>.

#### LE GÉOTAT DE LA SCARISCIARA.

La glacière naturelle dite "Ghetarul de la Scarisiera" est une des grottes les plus intéressantes de la Roumanie. La première étude scientifique qui lui a été consacrée est due au grand géologue autrichien A. A. SCHMIDT, qui l'a visitée en 1867. Les recherches effectuées en 1921 - 1923 par Emil RĂCOVITA et René JEANNEL ont apporté de nouvelles contributions quant aux formations de glace et à la faune de la grotte. En raison de difficultés techniques, ces explorateurs n'ont cependant pas pu résoudre l'ensemble des problèmes que posait l'étude de cette glacière. Son exploration complète, effectuée par les collaborateurs actuels de l'Institut de Spéologie, et elle s'est faite par les observations et les résultats suivants, dont quelques-uns sont tout récemment

Les explorations que nous signalerons ont été effectuées par le collectif de chercheurs de la Filiale de Cluj de l'Institut de Spéologie "Emil RĂCOVITA" de l'Académie de la R. P. R., formé de D. COMAN, M. SERBAN, I. VIERMANN, C. PLESA, M. A. TH. RUS, auquel a prêté son concours le géographe M. BLEAHU.







Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology  
SEKTION I

---

Daniel COMAN

EXPLORATIONS SPÉOLOGIQUES EN TRANSYLVANIE  
(REPUBLIQUE POPULAIRE ROUMAINE)

Les régions karstiques de Roumanie ne commencèrent à former l'objet d'intenses études spéologiques que lorsque le savant roumain Emil RACOVITA, après une période de 30 ans passés en France, retourna dans sa patrie en 1920 et créa à Cluj un Institut de Spéologie consacré uniquement à l'étude des excavations souterraines. S'étant acquis pour une longue intervalle de temps de la précieuse collaboration du professeur René JEANNEL et du docteur J.P. CHAPPUIS, Emil RACOVITA dirigea son attention en premier lieu vers les régions karstiques de Transylvanie. Les recherches des trois savants ont conduit à l'exploration de plus de deux cents grottes et ont fourni des résultats exceptionnels en particulier du point de vue biospéologique.

Ayant continué, dans cette région de la Roumanie, les recherches de leurs grands prédécesseurs, les chercheurs de l'Institut de Spéologie de l'Académie de la R.P.R. ont enregistré quelques succès qui ont conduit - entre autres choses - à la découverte et à l'exploration des plus grandes grottes de notre pays.

Dans ce qui suit nous signalerons les résultats les plus importants de ces explorations <sup>1)</sup>.

**GHETARUL DE LA SCARISOARA.**

La glacière naturelle dite "Ghetarul de la Scarisoara" est une des grottes les plus intéressantes de la Roumanie. La première étude scientifique qui lui a été consacrée est due au grand géologue autrichien A.A. SCHMIDL, qui l'a visitée en 1857. Les recherches effectuées en 1921 - 1923 par Emil RACOVITA et René JEANNEL ont apporté de nouvelles contributions quant aux formations de glace et à la faune de la grotte. En raison de difficultés techniques, ces explorateurs n'ont cependant pas pu épuiser l'ensemble des problèmes que posait l'étude de cette glacière. Son exploration complète a été effectuée par les collaborateurs actuels de l'Institut de Spéologie, et elle s'est soldée par les observations et les résultats suivants, dont quelques-uns sont tout récents.

---

<sup>1)</sup> Les explorations que nous signalerons ont été effectuées par le collectif de chercheurs de la Filiale de Cluj de l'Institut de Spéologie "Emil RACOVITA" de l'Académie de la R.P.R., formé de D.COMAN, M.SERBAN, I.VIEHMANN, C.PLESA, M.ALB et Th.RUSU, auquel a prêté son concours le géographe M.BLEAHU.

La glacière naturelle dite "Ghetarul de la Scarisoara" est située dans les Monts Apuseni (Carpathes Occidentales), sur le sommet du versant gauche de la vallée Girda Seaca, à une altitude de 1200 m, à 20°12'40" long. E (Ferro) et à 46°29'32" lat. N. La roche est du calcaire norien recouvert d'une forêt de *Picea excelsa* mêlée de *Abies pectinata* et *Fagus*. Au milieu de la forêt s'ouvre un aven presque circulaire au diamètre de 60 m et profond de 48 m. Au cours des dernières années la neige se conservait au fond de cet aven aussi pendant les mois d'été. C'est au fond de l'aven que s'ouvre la glacière proprement dite qui revêt la forme d'une salle oblongue au diamètre transversal de 50 m et longitudinal de 90 m, sur une hauteur de 20 m (fig. 1). A l'extrémité NE de cette salle, dont le plancher est de glace, se trouve un dénivellement de 5 m qui mène dans une salle de 20 x 20 m où se trouvent de nombreuses colonnes de glace auxquelles la grotte doit sa renommée (fig. 3). Au contact du plancher de glace de la grande salle avec les parois latérales existent de nombreuses rimayes. Les descentes que nous avons effectuées dans ces rimayes ont révélé que le plancher de glace de la grotte n'est que la surface d'un bloc de glace haut de 19 m, dont le volume approximatif se chiffre à 40 000 m<sup>3</sup>. Ce bloc occupe l'espace central d'une excavation longue de 600 m et large de 40 m (en moyenne), qu'il divise en plusieurs compartiments (grottes) distincts, situés à une profondeur moyenne de 30 m de la surface du bloc de glace central. Dans deux de ces grottes, situées au N et au S du bloc de glace, à une distance déterminée par les conditions thermiques imposées par la présence d'une masse de glace, se trouvent des formations de glace (des colonnes) ou calcaires (stalagmites, stalactites) (fig. 4). C'est précisément la coexistence sur un aéal très restreint des formations calcaires et de glace qui constitue la particularité de cette glacière.

Les observations les plus intéressantes sur la grotte de Scarisoara portent notamment sur la stratification du bloc de glace formé de minces couches d'impuretés (restes végétaux, calcaire désagrégé). L'épaisseur de ces couches varie entre quelques mm et 1 à 2 cm.

L'académicien Emil POP de Cluj, ayant effectué l'analyse pollinique des couches d'impuretés, a constaté que le bloc de glace de la grotte s'est formé au cours de la dernière phase sylvestre post-glaciaire, celle du hêtre, son âge étant de 3000 ans.

Quelque intéressante qu'elle soit, cette constatation se joint néanmoins à une autre, des plus alarmantes, notamment que ce magnifique monument naturel se trouve en plein processus de déclin, que nous enregistrons depuis 14 ans.

Ainsi, par rapport au repère par lequel nous avons marqué, en 1947, le niveau supérieur du bloc de glace, nous avons constaté, sans toutefois effectuer un contrôle périodique de ce phénomène, que le niveau du bloc de glace baisse vertigineusement. Lors de notre dernière descente (juillet 1961), nous avons consigné une baisse totale de 75 cm.

La possibilité de production de courants d'air qui eussent pu être incriminés comme cause de ce phénomène étant exclue, et ayant constaté que la température moyenne annuelle de la région n'avait pas non plus subi de modifications, le phénomène paraissait inexplicable. La consultation attentive des bulletins météorologiques des stations voisines nous a permis de constater que le climat de la Transylvanie a souffert une modification notable durant ces 14 dernières années, dans ce sens que la température a enregistré en hiver une hausse moyenne de 4°C et, en été, une baisse équivalente. Le phénomène était accompagné d'une réduction substantielle des neiges tombées en hiver et d'une augmentation des précipitations durant les mois d'été.

Or, compte tenu du fait que dans les glacières de type statique, l'accumulation de la glace est déterminée par l'existence de températures basses en hiver, accompagnées de tombées massives de neige, ainsi que par l'absence de précipitations en été, les modifications climatiques des mois critiques, survenues depuis 14 ans, sont suffisantes pour expliquer le processus de fonte qui affecte la glacière.

Il est imprévisible combien de temps durera encore cette modification climatique si désastreuse pour notre glacière naturelle, mais il est certain, par contre, que le bloc de glace de la grotte de Scarisoara a enregistré durant les 3000 ans révolus une série de phénomènes climatiques qui se sont fixés dans la structure de ses couches. Outre les analyses polliniques, il sera possible de déceler, à l'aide de l'analyse des isotopes stables, en particulier de ceux de  $O^{18}$ , les conditions physiques dans lesquelles se sont déposées les diverses couches de glace, et de la sorte on pourra dégager des conclusions sur l'évolution climatique générale d'une période de trois millénaires. La coordination de tels résultats avec des recherches similaires qui seraient poursuivies dans d'autres régions de l'Europe serait, croyons-nous, d'un grand intérêt pour la paléoclimatologie et aussi pour d'autres domaines scientifiques que ce lui de la spéléologie.

Une découverte intéressante qui a été faite dans la glacière de Scarisoara est celle d'un squelette complet de chamois, enfoui dans l'une des grottes situées à la base du bloc de glace général, à une profondeur de 100 m de la surface. La position du squelette ainsi que l'absence de toute trace de traumatisme des os démontrent que l'animal avait pénétré dans la grotte par ses propres moyens et qu'il y avait succombé de faim. Comment la bête a pu accéder jusqu'à cette profondeur considérable est une question qui reste inconnue. Les données comparatives que fournissent des découvertes de restes de *Rupicapra* dans d'autres grottes des Monts Apuseni indiquent pour la squelette mentionné un âge d'environ 15 000 ans. Le chamois, présent actuellement dans d'autres massifs montagneux de notre pays, n'a pas été signalé dans les Monts Apuseni depuis l'âge historique.

Le seul être vivant cavernicole de la glacière de Scarisoara est le Coléoptère *Rhœleuon proserpinae* glaciale, décrit par R. JEANNEL.

Bien que les recherches scientifiques effectuées jusqu'à présent dans la glacière de Scarisoara soient encore incomplètes nous estimons que les données que nous venons de signaler montrent que les problèmes que soulèvent les recherches dans les galeries de glace méritent toute l'attention.

## LA GROTTE "POJARUL POLITEI".

Située à proximité de la glacière naturelle, cette grotte fait partie du même système souterrain que celle de Scarisoara, la liaison entre elles étant actuellement colmatée. Quoique de dimensions réduites (longueur totale: 200 m environ), cette grotte est, du point de vue de concrétions, la deuxième en ce qui concerne l'importance, en Roumanie. Les formations de mondilch prédominent un peu partout, mais la caractéristique spécifique de la grotte réside dans la diversité exceptionnelle des concrétions et des cristaux de calcite. Dans aucune autre grotte de notre pays les cristaux de calcite excentriques sont aussi bien développés; ils y revêtent la forme de guirlandes ou d'agglomérations massives. Par endroits, les masses de cristaux excentriques s'intercalent entre les stalactites habituelles, certaines d'entre elles étant formées de cristaux uniques qui atteignent une longueur de 13 cm (fig. 5).

## LA GROTTE "DIN SESURI".

Cette grotte est également située à proximité de la glacière naturelle. Sa profondeur de 180 m lui vaut d'être la deuxième comme profondeur de Roumanie. L'exploration de cette grotte, dans laquelle les grandes salles (70 x 40 m, hauteur 30 m) alternent avec des galeries extrêmement basses (70 cm) a été très pénible à cause des dépôts de vase argileuse agglomérée dans les galeries étroites et basses. Les résultats les plus intéressants de l'exploration, effectuée en plusieurs reprises, ont été fournis par les découvertes paléontologiques. Ainsi, dans les trois premières salles de la grotte, situées l'une sous l'autre à des différences de niveau de 10 à 12 m, ont

été trouvés des restes bien conservés de *Bison priscus* Boj. et de *Alces alces* L., ainsi qu'un grattoir en os. Les observations préliminaires ont relevé que l'aven de 3 m en diamètre et de 3 m en profondeur, d'où s'ouvre l'entrée de la grotte, a été utilisé par l'homme préhistorique comme piège de chasse naturel. La présence du *Bison* et de l'*Elan* y est d'ailleurs signalée pour la première fois dans les Monts Apuseni.

#### PESTERA VINTULUI.

La grotte du Vent (Pestera Vintului) est, en ce qui concerne les dimensions, la deuxième en Roumanie, totalisant jusqu'ici une longueur de 4500 m. La grotte est située dans l'extrémité nord des monts Pădurea Craiului, dans le bassin de la rivière Crișul Repede, à 0,5 km de la localité Suncuius. La grotte est traversée par un cours d'eau souterrain, affluent du Crișul Repede. Elle est cantonnée dans les calcaires triassiques et appartient dans sa partie supérieure au Norique.

L'entrée de la grotte est colmatée, l'accès se faisant par une cheminée dont le diamètre mesure 50 m. Cette cheminée détermine en été l'évacuation sous pression de l'air froid de l'intérieur, fait pour lequel les habitants des lieux lui ont donné le nom de "grotte du Vent".

La grotte a deux étages distincts qui se maintiennent à une différence de niveau presque constante de 30 à 35 m tant dans la partie supérieure que dans la partie inférieure du cours souterrain actif qui débouche par une exsurgence. L'étage supérieur représente un cours fossile caractérisé par de nombreux niveaux d'érosion très nettement contournés et par des méandres. Un autre trait spécifique de cette grotte est constitué par les plafonds planes horizontaux (fig. 2), qui ne sont pas développés sur des faces de couche. Entre l'étage fossile supérieur et le cours actif inférieur se trouvent de nombreux avens internes qui représentent autant de captages successifs du réseau fossile par le réseau actuellement actif. Ces captages se sont produits sur des fissures de nature tectonique, ce qui est décelable à une bréciation massive du calcaire dans les zones respectives.

Un phénomène qui mérite d'être relevé dans cette grotte est la présence d'un double aspect morphologique, déterminé par le fait que le cavernement est creusé en partie dans les calcaires fortement dolomitisés. Dans les régions dolomitisées les niveaux d'érosion, apparants dans le reste de la grotte, n'apparaissent plus, l'aspect morphologique de cette région se caractérisant par la présence de lapiez et de structures en trou d'éponge. La différence entre les deux aspects est si tranchante qu'elle évoque l'impression d'une grotte complètement différente, bien qu'il s'agit d'une gallerie souterraine unique.

La grotte du Vent possède des régions fortement concrétionnées. Les formes habituelles alternent avec des formes cristallines moins communes telles que, par exemple, des cristaux de calcite atteignant 14 cm. Ils n'ont pas été trouvés in situ, mais dans des aggrégats tombés du plafond de la salle des "Titans" (70 x 20 x 20 m). La forme du cristal est un dérivé du rhomboèdre, tandis que la pointe est celle d'un prisme trigonal. Défait sur sa face de clivage, le cristal présente le phénomène de biréfringence.

Particulièrement intéressantes sont les diverses formes sous lesquelles apparaît le gypse, qui se présente sous la forme fibreuse du sélénite avec la production d'anthodites (fig. 6), des cristaux longs de 18 cm dans certains cas ou bien sous forme de croutes étendues sur de vastes surfaces sur les parois et la voute de la grotte. Le gypse revet aussi la forme de cristaux acidulaires dans les dépôts alluvionnaires de sable.

La faune troglobionte de la grotte, qui sera étudiée dans une monographie, est représentée jusqu'ici par les Isopodes *Mesoniscus alpicolus graniger* Fridv. (déterminé par A. VANDEL) et *Pholeuon moczáryi* Csiki.



## GROTTE DE "IZVORUL TAUSOARELOR".

Cette grotte est située au Sud des Monts Rodna et au nord de la rivière Someșul Mare, non loin du sommet Birlea (1628 m). Elle s'ouvre dans le flanc gauche de la vallée Izvorul Tausoarelor, qui reçoit ses eaux du Mont Birlea. La longueur totale des galeries de cette grotte est de près de 5 km; la différence de niveau à partir de l'entrée jusqu'au point le plus profond est de -340 m. Aussi cette grotte représente-t-elle jusqu'à l'heure actuelle la grotte la plus étendue et la plus profonde de notre pays. Elle est encore en voie d'étude.

Sa découverte, en 1955, par l'instituteur Leon BIRTE a constitué un véritable surprise. En fait, bien que le sous-sol des Monts Rodna abrite des phénomènes karstiques considérables, leurs manifestations extérieures typiques sont peu nombreuses et difficilement décelables. Quelques ponors et résurgences, peu de dolines et l'absence complète des lapiez ne permettaient pas de supposer que cette région abrita la plus grande grotte de Roumanie.

La grotte capte partiellement le ruisseau "Izvorul Tausoarelor", qui se verse dans la rivière Gersa, affluent du Someșul Mare. Selon Th. KRÄUTNER, la grotte est située dans des calcaires éocènes moyens, faciès littoral Riff. Il est intéressant de remarquer que dès l'entrée jusqu'au fond (-340 m), on rencontre partout des parois à sections naturelles, taillées par les anciens cours d'eau, dans lesquelles on reconnaît un riche dépôt de fossiles. On a déterminé entre autres: des algues Lithothamniaceae, des foraminifères Miliolides, des hexacoralliaires du type Astracopodes, des formes solitaires de Turbinolides et des lamellibranches tels que *Qstrea lucina*. Particulièrement belle est une section longitudinale dans une forme de *Campanile cf. parisiensis* var. *clujensis* Meszaros, long de 24 cm, qui est visible sur la paroi de l'une des galeries.

Le ruisseau souterrain traverse la grotte et se perd au point -340 dans une masse d'éboulis. La coloration à la fluorescéine a révélé que l'eau parcourt jusqu'à sa résurgence un tracé de 7 km, inexplorable. La détermination de la direction du cours d'eau souterrain, vue de la grotte, a mis en évidence le fait très intéressant que cette direction a un sens diamétralement opposé à la direction des vallées épigées sous lesquelles la grotte s'étend.

A l'intérieur de la grotte, de nombreuses galeries sont presque complètement colmatées par des matériaux alluvionnaires, tandis que dans d'autres galeries ils sont entièrement lavés. Les analyses polliniques et granulométriques de ces dépôts stratifiés pourront fournir nombre d'indications sur les processus de spéléogénèse que cette grotte a subis.

Par rapport à ses dimensions, la grotte de "Izvorul Tausoarelor" est faiblement concrétionnée, fait qui peut être attribué aux qualités du calcaire éocène, généralement bitumineux et gréseux.

Bien développées sont - au contraire - les formations de gypse (anthodites) qui occupent de vastes parties des parois dans certaines galeries. La structure de ces formations est fibreuse, les faisceaux de fibres étant orientés perpendiculairement sur les parois de la grotte. Les agrégats de gypse décrivent en général des formes courbes et spirales. L'épaisseur d'un aggrégat varie entre 0,5 et 8 cm, sa longueur étant de 1 à 15 cm. C'est dans cette grotte que les formations de gypse ont été signalées pour la première fois dans notre pays.

La faune de la grotte, représentée par des Oligochètes, Nématodes, Crustacés, Aptérigotes, Diptères et Trichoptères, est en voie d'étude.

Les explorations effectuées par les membres de la filiale de Cluj de l'Institut de Spéologie "Emil Racovita" ont eu pour résultat la découverte de nombreuses grottes en Transylvanie. Dans la présente communication nous nous sommes borné aux plus importantes, dont l'étude continue.



## BIBLIOGRAPHIE.

- 1) POP E., 1950. - Analize de polen in gheata de la Scarisoara (Analyses polliniques dans la glace de Scarisoara). - Analele Acad. R. P. R., tom. III, Mém. 2.
- 2) SERBAN M., COMAN D., GIVULESCO R., Découvertes récentes et observations sur la glacière naturelle dite "Ghetarul de la Scarisoara". - Bull. de la Soc. Sc. Cluj, tom. X, 1948.
- 3) VIEHMANN I., SERBAN M., Note préliminaire sur la grotte "Izvorul Tausoarelor". (Sous presse).

## FIGURES:

- Fig. 1 - Grotte de Scarisoara. Le fond de l'aven vu de la première salle de la grotte (décembre 1957). Photo: D. COMAN
- Fig. 2 - Grotte du Vent. Plafond plan horizontal et niveau d'érosion. Photo: D. COMAN
- Fig. 3 - Grotte de Scarisoara. Colonnes de glace. Photo: D. COMAN
- Fig. 4 - Grotte de Scarisoara. Stalagmites calcaires. A droite, une colonne de 4,70 m; hauteur du cone: 2,25 m. Photo: D. COMAN
- Fig. 5 - Grotte "Pojarul Politei". Formations cristallines excentriques entre les stalactites habituelles. Photo: D. COMAN
- Fig. 6 - Grotte du Vent. Anthodites de gypse. Photo: I. VIEHMANN

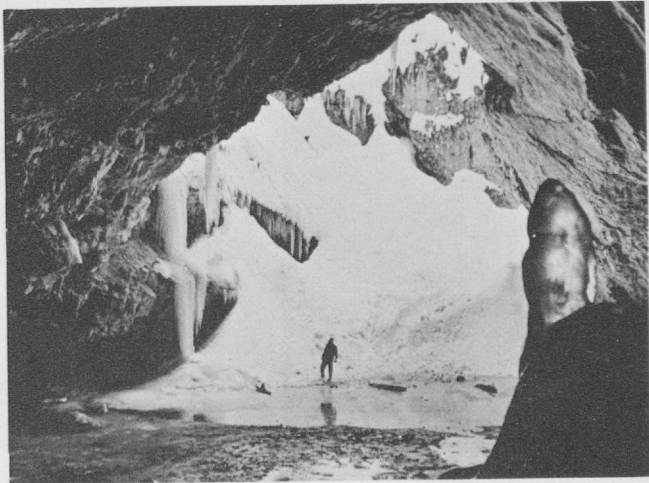


Fig. 1



Fig. 2

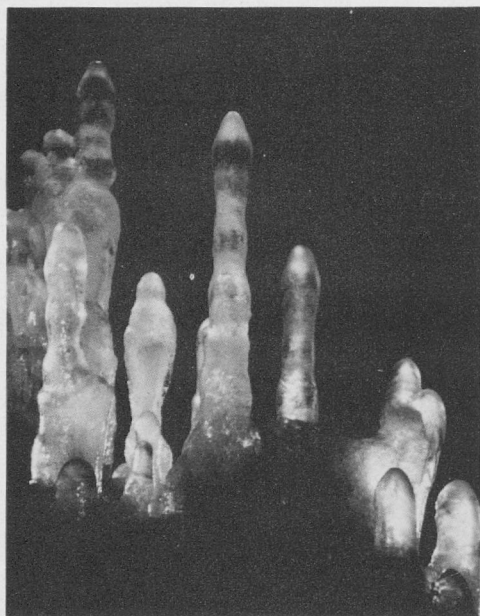


Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6

SEKTION I

N. ORGHIDAN

MERKWÜRDIGE STRUKTURELLE KARSTFORMEN  
IN DER DOBRUDSCHA

Die eng zwischen der Donau und der Schwarzmeerküste begrenzte rumänische Provinz Dobrudscha ist reich an Kalksteinmassen. Trotzdem kann sie nicht als besonders reich an karstischen Formen bezeichnet werden. Sowohl südlich des Karasutales, wo der sarmatische Kalkstein vorherrscht, als auch nördlich dieses Tales, wo mehrere mesozoische Kalkzüge zum Vorschein kommen, fehlen fast gänzlich die anderswo so üblichen Karstformen, wie Karren und Dolinen.

Unter den Höhlen verdienen nur zwei diesen Namen. Die eine ist die sogenannte Fledermaushöhle bei Gura Dobrogei<sup>1)</sup>, 50 km nördlich von Constanza, deren Gesamtlänge ungefähr 400 m beträgt. Die andere befindet sich südlich des Mangaliasees in der Nähe des Dorfes Limanu. Sie ist ein wahres Labyrinth, das aus vielen, sich nach allen Seiten erstreckenden Gängen besteht und zum größten Teil von Menschenhand gegraben wurde. Sonst gibt es nur ganz kleine Grotten, Gruben und Löcher, die nur zum Teil durch Erosion, mehr durch Brüche oder Felsabsturz entstanden sind.

Unter den letzteren ist auch die bekannte "Pestera la Adam" zu nennen, wo die Paläontologen des Speologischen Institutes Emil RACOVITZA unlängst, außer vielen materiellen Kulturresten, auch eine für die Kenntnis des früheren Klimas der Dobrudscha sehr wichtige Fauna gefunden haben.

Man muß noch hinzufügen, daß es in allen diesen Höhlen und Gruben keine Spur von aktuellen Sinterbildungen<sup>2)</sup> oder von einem unteriridischen Wasserlauf gibt. Im Ganzen haben wir es mit einem unvollendeten Halbkarst (nach GRUND) zu tun, dessen Charakter, unserer Meinung nach, mehreren Ursachen zuzuschreiben ist:

- 1) Der Natur des Kalkstein selbst, der nicht ganz rein ist.
- 2) Der Tatsache, daß die Kalkablagerungen im allgemeinen dünn sind und sich in einer geringen Höhe über dem hydrostatischen Niveau befinden. Die Fledermaushöhle liegt

1) D.h. Dobrudschamündung. Gura Dobrogei ist nämlich ein Durchbruchstal, welches den Kalkzug längs des Casimceatales durchbricht und das Übertreten von der nördlichen zur eigentlichen südlichen Dobrudscha erleichtert. Es ist ein alter vielbegangener Durchgangsweg.

2) In der Höhle von Gura Dobrogei sieht man allerdings alte eigenartige Sinterformen, die von einem früherenniederschlagsreicheren Klima zeugen.



ausnahmsweise 50 m hoch über dem Casimceatales.

3) Die Niederschläge sind spärlich (unter 500 mm jährlich), folglich ist auch die Vegetation keine üppige (Steppe); die Bodenschicht ist im allgemeinen arm an Säuren.

Etwas weiter fortgeschritten ist die Verkarstung des Kalkzuges längs des Casimceatales, zwischen den Dörfern Gura Dobrogei und Cheia. Dank den nach Süden geneigten Kalkschichten sind hier schöne Strukturformen entstanden (Cuestas), die nicht nur als solche, sondern auch chromatisch eindrucksvoll sind: die blanke Farbe des kahlen Kalksteins kontrastiert mit den dunklen Flecken des Zwergholzwäldchens, eine Art Maquis, das auch seinen eigenen einheimischen Namen hat (MISCHILIK - Abb.1)

Das Kalkband wurde hier von zwei klammartigen Tälern durchbrochen. An den Wänden der Klammern sieht man hie und da polierte Kalkflächen, die entweder durch den Schub und das Rutschen der Steinmassen oder durch die physische Aktion des Windes und die chemische Korrosion des Regen- und Schneewassers entstanden sind. Hier haben sich auch kleine, nicht ganz typische Karrenfelder ausgebildet. An den seitlichen Wänden der Klammern sieht man auch andere Karstformen, vertikale, wie Pyramiden, Säulen, Pfeiler, Türme, oder horizontale, wie z.B. Baldachinfelsen oder jene Vertiefungen zwischen benachbarten, widerstandsfähigeren Gesteinsschichten, welche den Eindruck alter Erosionsniveaus machen. In der Tat sind auch diese Formen mehr durch die Aktion des Windes entstanden, wobei manche Unterschiede der Gesteinsstruktur sichtbar geworden sind.

Im Zusammenhang mit diesem Faktor der Struktur wollen wir die Aufmerksamkeit auf eine sehr interessante Karstform lenken, die in derselben Gegend von Gura Dobrogei zu sehen ist. Auf der abgetragenen, nivellierten Oberfläche des Kalksteinzuges sieht man kleine Kalksteinringe, die von weitem den Eindruck einer Schafhürde machen. Ihr Durchmesser schwankt zwischen 20 und 100 m. Sie bestehen aus einem glatten, dank der Diagenese härteren Kalkstein und sind durch die selektive Tätigkeit der Erosion entstanden. Diese Ring- oder auch Hufeisenformen verraten ihre korraligene Natur, die auch durch andere Merkmale, wie z.B. oolithische Ablagerungen in ihrer Umgebung, bestätigt wird. Leider kann man aus diesem massiven, kompakten Kalk keine Fossilien herausbekommen.

Auch heute gibt es manche Korallenarten, wie z.B. die Porites, die kleine Atolle bauen, durch deren Vereinigung größere Inseln entstehen (Cococ Keelin Inseln, S. PASSARGE, Die Grundlagen der Landschaftskunde, III, S.401). Die Korallen leben, wie bekannte, mit anderen Lebewesen zusammen, wie Echinodermen, Krebse, Muscheln, Foraminiferen, Kalkalgen u.a. Diese besetzen gewöhnlich das Innere der Atolle, wo die Korallen wegen des unzulänglichen Sauerstoffes, des Sandes und anderer Verunreinigungen nicht gedeihen können. In der Fledermaushöhle von Gura Dobrogei, welche das Innere eines Atolls durchdrungen hat, hat man zahlreiche Fossilien solcher Tierarten gefunden.

Der Kalkzug von Gura Dobrogei ist aller Wahrscheinlichkeit nach ein altes mesozoisches Korallenriff, das seiner paläozoischen Unterlage (silurische "Grüne Schiefer") mit einer Erosionsdiskordanz aufsitzt. Seine von Ort zu Ort wechselnde Mächtigkeit übersteigt 100 m nicht. Die oben erwähnten Ring- und Hufeisenformen sind kleine, durch die Denudation abgekappte Atolle. (Abb. 2, 3, 4).

Dort, wo die vertikale Erosion tiefer eingedrungen ist, wie z.B. in der Klamm von Cheia, wurden die Atolle von der selektiven Erosion zuerst als Zylinder herauspräpariert. In einem weiteren Stadium wurde das Innere des Zylinders von dem weichen Material entleert, bis endlich in einem letzten Stadium nur einige Pfeiler aus der Zylinderrinde des alten Atolls übriggeblieben sind. Die beigelegten Photographien (Abb. 5 u. 6.) zeigen alle diese drei Entwicklungsstadien auf einem und demselben Bild nebeneinander.

Solche Karstformen, wie die oben beschriebenen, sie gehören auch zum Karst wie alle anderen Erosionsbildungen im Kalkstein - kommen sonst nirgends in Rumänien vor. Auch in der Fachliteratur sind sie meines Wissens nicht erwähnt worden.

Fig. 1.

Das Casimceatal in der Nähe  
des Dorfes Cheia.



Fig. 2.

Strukturelle Kalksteinbildun=  
gen in der Nähe von Jura Do=  
brogei.



Fig. 3.

Landoberfläche im Kalk in  
der Nähe von Jura Dobrogei.





Fig. 4

Kalklandschaft bei Jura Dobrogei

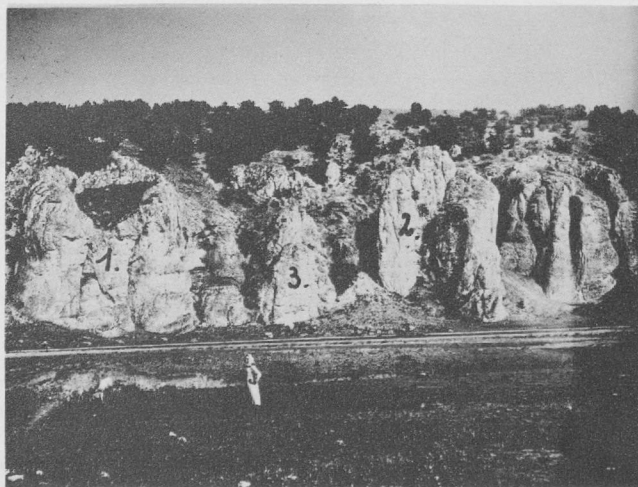


Fig. 5

Drei aufeinanderfolgende Phasen (1, 2, 3) selektiver Erosion in den Kalksteinmassen von Cheia (Dobrudscha).



Fig. 6

Motiv wie in Fig. 5, Gesamtansicht

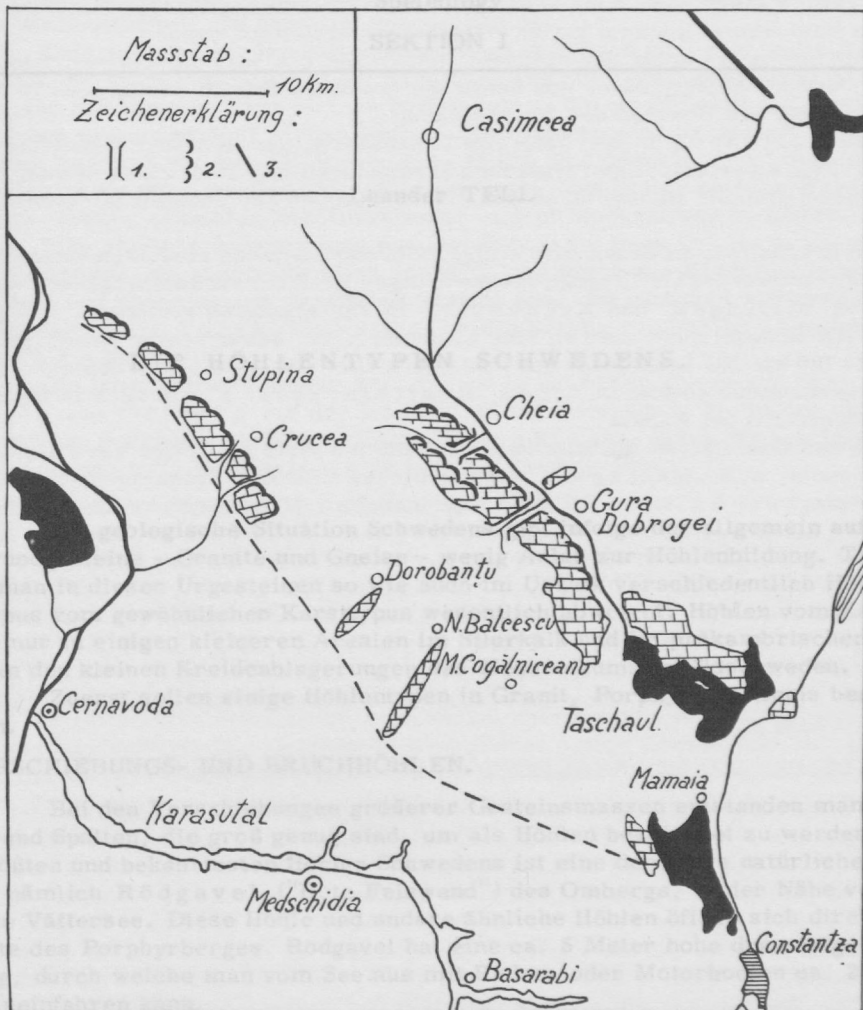


Fig. 7

Kalksteinvorkommen in der mittleren Dobrudscha

- 1: Klammtäler 2: Cuestas 3: Ein Teil der Bruch=  
linie Pecineaga - Camena.





Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology  
SEKTION I

---

Leander TELL

## DIE HÖHLENTYPEN SCHWEDENS.

Die geologische Situation Schwedens gibt infolge der allgemein auftreten= den Grundgesteine - Granite und Gneise - wenig Anlaß zur Höhlenbildung. Trotzdem findet man in diesen Urgesteinen so wie auch im Urkalk verschiedentlich Höhlen, deren Typus vom gewöhnlichen Karsttypus wesentlich abweicht. Höhlen vom Karsttypus gibt es nur in einigen kleineren Arealen im Silurkalk und im präkambrischen Kalk, sowie in den kleinen Kreideablagerungen des Mesozoikums in Südschweden.

Zuerst sollen einige Höhlentypen in Granit, Porphyry und Gneis beschrieben werden.

### 1. VERSCHIEBUNGS- UND BRUCHHÖHLEN.

Bei den Verschiebungen größerer Gesteinsmassen entstanden manchmal Klüfte und Spalten, die groß genug sind, um als Höhlen bezeichnet zu werden. Eine der größten und bekanntesten Höhlen Schwedens ist eine derartige natürliche Kluft= höhle, nämlich Rödgavel ("Rote Felswand") des Ombergs, in der Nähe von Alva= stra am Vättersee. Diese Höhle und andere ähnliche Höhlen öffnen sich direkt an der Südseite des Porphyrbirges. Rödgavel hat eine ca. 5 Meter hohe dreieckige natürliche Öffnung, durch welche man vom See aus mit Ruder- oder Motorbooten ca. 20 Meter weit hineinfahren kann.

Andere derartige Spalten und Klüfte, die durch eiszeitliche Gletscher und Schmelzwässer fein ausgeschliffen wurden, findet man in den Granitfelsen der Küste von Bohuslän (Bottna, Holmevatten, Hunnebo u.a.), in den Graniten und Gneisen von Kolmarden (Räuberhöhle beim Kolmardsanatorium), in der unmittelbaren Nä= he von Stockholm (Skarnäcksgrotta), im Porphyrfelsen Hoverberget in Jämt= land, im Urgranit bei Örnsköldsvik (Räckebergakyrka) und an mehreren anderen Stellen.

### 2. VERWITTERUNGS- ODER KORROSIONSPHÄNOMENE.

Der Frost des kalten Winterklimas Schwedens wirkt auf viele Gesteinsarten, die offen liegen, zersprengend und kann im Gneis sogar zur Bildung großer Höhlen füh= ren. Der Kullen ist ein bekannter großer Gneisfelsen, der vom nordwestlichen Teil Schonens (14 km NNW Hälsingborg) in den Kattegatt ausläuft. Die atmosphärischen Wässer sickern durch unzählige mikroskopisch kleine Spalten ein und frieren im Winter

an Stellen, wo das Sickerwasser in der Nähe einer größeren Spalte, bezw. einer kleinen Höhlenbildung gelangt, zu Eis. Das Gestein zerspringt und zerfällt in kleinere oder größere Stücke. Wasser oder Wind schaffen dann das heruntergefallene Material weg, wodurch die Hohlräume in jedem kalten Winter noch erweitert werden.

Die schönsten unter den vierzehn Höhlen Kullens sind die Visitenhöhle, die Waldemars- und die Söfthinghöhle, von denen die letzteren über 20 Meter weit in den Felsen hineinreichen, als Beweise der Frostwirkung.

Im Halleberg in der Nähe von Vänersborg, der in seiner Gesamtheit ein horstartiger Teil einer mächtigen typischen Diabasdecke ist, findet man kleine, sehr hohe, aber sehr schmale Höhlen unter den eigentümlichen säulenähnlichen Gesteinsformen.

Bruchspalten, in denen man einige Höhlenphänomene studieren kann, gibt es auch im roten Ortocerenkalk in jenen merkwürdigen Relikten subkambrischer Sedimentpakete, die in Billingen und Kinnekulle in Västergötland vorliegen. In Öglunda (10 km NW Skövde) sieht man so eine höhlenförmige, scharfeckige Bruchspalte, und in Kinnekulle (20 km NO Lidköping) am westlichen Ufer des Vänersees bestehen ähnliche Höhlenphänomene sowohl in Stora Bratteforskleva wie auch in Mörkleva (Dunkelkluft) bei Rabäck.

In den Gneisfelsen Mittelschwedens habe ich viele derartige Verwitterungshöhlen untersucht, z.B. Kattegale am nördlichen Ufer des Tisnarsee (ca. 30 km NNW Norrköping) und Sulnäs (15 km S Katrineholm). Eine nordschwedische Korrosionshöhle ist die Königshöhle im Skuleberg (37 km SW Örnsköldsvik), die sich in der 200 Meter hohen steilen Wand hoch über der vorbeiführenden Landstraße öffnet.

Eine eigenartige Bildung, eine Riesenspalte, die kleine Verwitterungshöhlen in ihren Wänden aufweist, ist die bekannte Skurugate (ca. 10 km NO Eksjö). Die 7 bis 20 Meter breite Spalte zieht sich fast 1 km durch den Berg und die steilen Wände sind manchmal über 20 Meter hoch. Das Gestein ist ein gneisartiger, ziemlich porphyrischer Felsit, in dem durch Korrosion und Abrasion kleine Hohlräume in den Wänden entstanden sind.

### 3. RIESENKESSEL UND STEINHAUFENHÖHLEN. GLAZIALPHÄNOMENE.

Wie schon gesagt, findet man in der schwedischen Landschaft ziemlich viele Naturdenkmale der verschiedenen Eiszeiten, und ganz speziell der letzten Vereisung. Von diesen sind die sogenannten Riesenessel oder -töpfe und die Riesenblöcke, d.h. Strudel- oder Evorsionslöcher (Kolke) und erratische Blöcke, von besonderem Interesse. Es gibt Fälle, wo ein Riesenessel horizontal ausgebildet worden ist. Dies ist etwa bei der kleinen "Räuberhöhle" in Stora Rösjö bei Bona (ca. 17 km NO Motala) der Fall, die sich 5 m weit und 1,6 m hoch schräg in den Felsen hinaufzieht. Sonst spielen die Höhlen, die zwischen den unzähligen erratischen Blöcken zu sehen sind, die größte Rolle. Derartige Blöcke findet man in Schweden überall in den Feldern, in den Wiesen, in den Wäldern und auf den Bergen. Die in den Blöcken liegenden Steinhaufenhöhlräume werden "Gryt", "Kummel", "Ide", "Stenfall" etc. genannt; Füchse, Dachse und Bären finden darin Schutz und werden dort oft von Jägern mit ihren Hunden verfolgt.

Diese Höhlen entstanden in der letzten Eiszeit. Als das Inlandeis allmählich schmolz und sich nach Norden zurückzog, fielen die im Eis eingeschlossenen und von ihm transportierten Blöcke und Steine zu Boden. Dabei konnte es geschehen, daß einige Blöcke auf einen Haufen zusammenfielen und daß sich ein oder mehrere Blöcke wie ein Dach übereinanderlegten. In der Provinz Östergötland (Ostrogothien) sind Hunderte solcher Steinhaufenhöhlen. Diejenige bei Boda in Östra Ryd (25 km S Norrköping) und die bei Höversby (25 km SSW Norrköping) tragen seit alters her den Namen "Räuberhöhlen". Die Räuberhöhle bei Höversby ist in zwei Stockwerken angelegt, der untere Saal ist im ganzen 40 Meter lang.

Die Gletscher des Eiszeitalters haben in einigen Orten Schwedens zahllose große und kleine Blöcke in Steinhaufen oder, wie es in Schweden heißt, Steinfällen

abgelagert. Diese Ansammlungen liegen meistens an der Wand eines Berges, der dem gleitenden Eis im Wege stand. An einigen Stellen ist so ein Riesenhaufen oder Steinfall von einem Moränenos derart bedeckt, daß man viele Steinhaufen nicht sieht, bevor man den Moränenschutt und Sand tief durchschneidet.

Zwischen den großen Steinen und Blöcken können sich hier weite Hohlräume erstrecken. Es handelt sich meist um sehr enge und niedrige, gewundene Kriechgänge, die dann und wann in einen kleinen Saal münden, die im Steinfall aber hundert Meter und mehr kreuz und quer ziehen können. Eine der größten derartigen Sehenswürdigkeiten liegt in Børsås bei Hällesaker (ca. 23 km SSO Göteborg), wo man in eine SW-NO Ravine im dortigen Berg hinaufklettern muß, um in der rechten Wand die Öffnung eines langen, schmalen Höhlensystemes in drei Stockwerken zu finden.

Eine ähnliche Ansammlung von Steinblöcken gibt es bei Rämninge (ca. 7 km O Finspang), wo außerordentlich große Blöcke durch die Kraft des Inlandeises aufgestapelt und übereinander geschoben worden sind. Es gibt dort mehrere kleine Höhlen. Eine davon, die Torekullakyrka (= die Kirche von T.), ist 14 m lang, 8 m breit und 0,5 - 3 m hoch.

Die längste Höhle dieser Art, die ich in Schweden untersucht habe, ist die Eishöhle im Östberg auf der Insel Frösö bei Östersund, die in der moränensandbedeckten Bergseite verborgen liegt. Diese Höhle hat, durch die mächtigen Sandablagerungen isoliert, im Sommer eine Innentemperatur von 0° C.

#### 4. EROSIONS- UND (ODER) KARSTHÖHLEN.

Aus dem oben gesagten geht hervor, daß Schweden mehr ungewöhnliche Höhlentypen aufweist als man sie in anderen Ländern, und besonders in den bekannten Karstgebieten der Erde, findet. Die Kalkvorkommen sind hier sehr beschränkt, da die meisten von den Riesengletschern der verschiedenen Eiszeiten ab- und weggeschliffen worden sind, oder weil - nach moderner Auffassung - diese Gebiete während Devon, Karbon und Perm über dem Meer lagen und daher dort primär keine Kalke abgelagert wurden. Die Oberfläche des Landes wird darum überwiegend von den verschiedenen Urgesteinen eingenommen. Nur in Südschweden gibt es einige Kreidekalke der Danienformation, die übrigen Kalke gehören jedoch der silurischen, kambrischen oder präkambrischen Formation an. Eigentümlicherweise sind jedoch sogar in den silurischen und präkambrischen Kalkformationen kleine Karstphänomene vorhanden.

In der Provinz Schonen gibt es z.B. eine große und interessante Höhle im Balsberg (3 km N Kristianstad), wo ich vom Eingang aus 130 m tief eindringen konnte. Die Höhle war ein beliebtes Studienziel während des XI. Intern. Geologenkongresses (Stockholm und Kopenhagen 1910) und ist früher schon von LINNE, deMORGAN und vielen anderen untersucht worden. Der fossilreiche Kreidekalk (besonders reich an Belemniten und Muscheln), der hier als großer Abtragungsrest vorliegt, hat durch mehrfache Erosion ein Höhlensystem mit ziemlich großen Sälen und niedrigen Tunnels gebildet. In Ignaberga, Ivö und Barnakälla kann man in Schonen ähnliche aber mindere Höhlenbildungen studieren. Von einer eigentlichen Karstbildung kann man aber hier nicht sprechen.

Auf der großen Insel Gotland im Baltischen Meer gibt es jedoch eine Karstlandschaft rings um das bekannte Höhlensystem von Lummelunda (13 km N Visby), das ich in anderen Veröffentlichungen mehrmals erwähnt habe. Dort hat ein unterirdischer Wasserlauf eine Reihe schöner Höhlen, Tunnels und Kanäle ausgebildet, die mit sehr schönen Stalaktiten, Stalagmiten und Sinterschmuck eine der größten Sehenswürdigkeiten Schwedens geworden sind. Die Gesamtlänge der jetzt erforschten Höhlenteile beträgt mehrere Kilometer.

Eine Menge von großen und kleinen Höhlen gibt es überall auf Gotland, an der Küste meistens Abrasionshöhlen, worunter Stora Förvar auf der Insel Stora Karlsö neben Gotland unzählige Funde des Neolithikums, des Bronze- und des beginnenden Eisenzeitalters geschenkt hat.



Auf dem Festland findet man einzelne Kalksteinhöhlen, u. a. in der Nähe des bekannten Marmorbruches in Kolmarden (23 km NO Norrköping), am östlichen Ufer des Jatturnsees in Dalekarlien (27 km SSW Borlänge) und am Strand des Gysensees (70 km NNW Östersund), wo man zwei lange und schmale Höhlen mit je einem unterirdischen Bach studieren kann und wo man im schrägen natürlichen Tunnelprofil ein kleines Detailbild der bekannten eigentümlichen Wälzung (Kippung) des jämtländischen Sedimentpaketes bekommt.

Das nächste Karstgebiet liegt sehr fern und zwar im nördlichsten Teil von Jämtland, wo der Fluß Bjurälven (= Biberfluß), nachdem er von Norwegen kommend unter den Grenzgebirgen Kölen 2 km unterirdisch geflossen ist, in der Wildnis von Leippikvattnet (mehr als 350 km N Östersund) kleine Karsterscheinungen geformt hat. Etwas nördlich dieses kleinen Karstgebietes gibt es eine in Windungen verlaufende Wasser- und Erosionshöhle in Södra Storfjället, noch viel nördlicher öffnet sich schräg gegenüber Abisko und Björkliden am nordwestlichen Ufer des Sees Torneträsk die meistbekannte Höhle Nordschwedens, nämlich Lulletjärro, von welcher die Gesamtlänge mehr als 2000 m beträgt. Man hat im Tunnel eines unterirdischen Bachlaufes kleine, aber schöne Tropfsteine – meistens Zapfen und Draperien gefunden.

Sonst ist das Auffallende an diesen Höhlen, die im marmorharten Urkalk angelegt worden sind, das fazettenreiche Erosionsbild der Decke, der Wände und oft sogar des Bodens. An der Formung dieser Fazetten kann zwar das dorthin gelangende Spritzwasser und (oder) das auftretende Kondensationswasser korrosiv beteiligt sein, doch ist eine evorsive Bildung durch die mächtigen Herbst- und Frühjahrsüberflutungen wahrscheinlicher. Hiefür sprechen auch die gut zugerundeten oder phantastisch skulptierten Gerölle des Muttergesteins, welche sich in den nordschwedischen ( und norwegischen) Höhlen stets finden.

#### Diskussion.

GRESSEL: Sind bei den größeren Höhlen in Schweden auch Zirkulationsvorgänge oder Wetterführungen beobachtet worden ?

TELL: Die bisher untersuchten schwedischen Höhlen sind statisch bewettert.

Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology  
SEKTION I

---

Maurice AUDETAT

LA RÉGION KARSTIQUE DE MAYEN-FAMELON  
LEYSIN. PRÉALPES SUISSES.

Les régions karstiques et les lapiaz sont nombreux dans les Préalpes calcaires de la Suisse, mais peu nombreuses encore sont les régions qui ont été étudiées méthodiquement par des spéléologues. Quelques explorations isolées ont eu lieu çà et là dans les Préalpes et les Alpes calcaires. En Suisse allemande, quelques régions ont été étudiées avec soin; nous pouvons citer la région du Béatenberg - Interlaken, le massif du Hohgant, les Schrattenfluh, la région du Höll-Loch et les karsts voisins et le massif du Säntis. En Suisse française, seuls les Rochers de Naye et la région de Leysin ont été prospectés avec suite, et encore, ces prospections sont bien loin d'être achevées (1).

La région Mayen-Famelon quoique restreinte en dimensions comporte d'intéressants lapiaz, une circulation souterraine complète, des phénomènes karstiques diverses et enfin, chose peu fréquente en Suisse, une possibilité de pénétration en grande profondeur, le gouffre du Chevrier (2) qui ouvre un espoir sur les chances d'existence de grandes cavités dans le sous-sol des Préalpes suisses.

La région Mayen-Famelon est située au Nord du village de Leysin (canton de Vaud), à cheval sur les feuilles 1264 Montreux et 1265 Les Mosses de la nouvelle Carte National de la Suisse au 1:25 000.

La région décrite est constituée par un massif calcaire orienté Sud-Ouest - Nord-Est. Ce massif comprend trois sommets: la Tour d'Ai à l'extrémité Sud-Ouest (2353 m), la Tour de Mayen (2329 m) séparée de la première par une combe désertique et une crête (2142 m), et la Tour de Famelon au Nord-Est (2141 m), qui s'élève au centre d'un massif accidenté et constitué en grande partie de lapiaz.

Entre la Tour de Mayen et celle de Famelon s'étend une vaste zone de lapiaz partant des premiers contreforts de la Tour de Mayen qui dominent le lac et les chalets de Mayen à l'altitude de 1800 mètres environ. Ces lapiaz forment un vaste plan incliné en direction Sud-Est.

Le faite de ces lapiaz se situe à une altitude allant de 2150 mètres à 2190 mètres environ. L'envers de cette crête est constitué de parois désagrégées dominant les alpages d'Argnauaz, le lac Rond et le lac Pourri. Les pentes du lapiaz convergent vers une vaste dépression en forme de cirque de rochers et qui se prolonge par une combe rapide, la combe de Bryon.

Le sommet de la Tour de Famelon est le point culminant d'une crête de rochers qui s'érige à l'extrémité Nord de la combe de Bryon. Ce sommet est entouré de

contreforts et de parois de rochers séparées par des terrasses de lapiaz très accidentés et qui se développent dans un rayon d'un kilomètre environ autour du sommet.

Toute cette région est entièrement dépourvue d'arbres, la seule végétation étant des touffes d'herbes, des plantes de montagne et des massifs de rhododendrons.

La région comprise entre les Tours d'Ai et de Mayen et la Tour de Famelon fait partie des Préalpes Médiannes et correspond au flanc d'un anticlinal qui culmine à la Tour d'Ai et qui est orienté en direction Sud-Ouest - Nord-Est. La zone des lapiaz situés entre Mayen et Famelon correspond au flanc normal de l'anticlinal constitué par le Malm qui est affecté de nombreuses failles. Le Malm affleure sans interruption depuis le haut du village de Leysin jusqu'aux divers sommets du massif et son plongement est sensiblement analogue à la pente topographique. Le Malm a été entamé dans la combe de Bryon où affleurent d'autres terrains, qui provoquent plusieurs résurgences.

Les sommets de la Tour d'Ai, Tour de Mayen et Tour de Famelon sont parmi les sommets des Préalpes de la Suisse française dans les premiers qui arrêtent les précipitations. Les Tours d'Ai et de Mayen sont en effet directement exposées aux vents d'Ouest qui amènent d'abondantes précipitations. En outre, durant l'hiver, l'enneigement de toute la région est abondant. Durant plus de la moitié de l'année, les températures sont basses, ce qui permet à la neige de subsister longtemps; elle se maintient même toute l'année dans les creux et cavités du lapiaz abrités du soleil. L'ensemble de ces conditions crée une situation très favorable: d'une part, l'accumulation de neige créant une réserve d'eau qui fond lentement; d'autre part, cette neige produit des eaux d'infiltrations froides qui sont plus agressives au contact du calcaire.

L'ensemble des lapiaz situés entre la Tour de Mayen et celle de Famelon constituent une zone d'absorption très active. Les précipitations sont directement absorbées par les innombrables fissures du lapiaz. Des diaclases de grandes dimensions, dont la longueur atteint plusieurs centaines de mètres, s'ouvrent en surface et sont envahies par la neige. Les dolines sont aussi très nombreuses ainsi que les glaciers naturels et les puits à neige. A proximité de la Tour de Mayen, un bassin fermé renferme un petit lac de montagne, le lac Segray, sans écoulement superficiel. Les infiltrations de ce lac doivent s'ajouter aux eaux collectées dans les lapiaz. Les eaux circulent à travers le Malm qui constitue un banc d'une cinquantaine de mètres environ d'épaisseur. Suivant le pendage de la roche, les eaux sont drainées vers le cirque de Bryon. A la base des rochers qui dominent cette combe, on voit nettement affleurer des bancs imperméables qui provoquent plusieurs résurgences <sup>1)</sup>. La présence de ces couches limite donc les cavités de la zone de lapiaz à une profondeur d'une cinquantaine de mètres au maximum.

Plusieurs résurgences sont visibles dans le haut de la combe de Bryon au contact du Malm et des couches inférieures imperméables. Au printemps lors de la fonte des neiges, plusieurs filets d'eaux sourdent de toutes parts. Plusieurs grottes s'ouvrent également au haut de la combe de Bryon. Ces grottes sont actives ou fossiles et ont contribué à l'agrandissement du cirque de Bryon. Les lapiaz situés au-dessus de Bryon constituent donc un système hydrologique restreint mais complet.

Toutefois, un phénomène particulier se produit qui permet à une notable partie des eaux du lapiaz d'échapper aux résurgences de Bryon. Sur le versant droit de la combe de Bryon, s'ouvre une cavité au contact Malm-Sinémurien. Cette cavité, le gouffre du Chevrier, débute par un boyau dont la pente s'accroît rapidement et se continue par des puits verticaux. A partir de -100 mètres environ, la configuration de la galerie change et la galerie principale suit sensiblement le pendage des strates. A environ -150 mètres, un cours d'eau souterrain conflue avec la galerie. L'origine des eaux qui alimentent ce cours d'eau doit se trouver partiellement tout au moins dans les

<sup>1)</sup> Sinémurien et Pliensbachien (d'après le géologue A. CAROZZI).

ruissellements absorbés par les lapiaz situés plus haut, les eaux suivant la base du Malm. Il est possible aussi que des fractures ou des failles permettent aux infiltrations de la base de la Tour de Mayen, du lac Segray et des lapiaz, d'alimenter directement le cours d'eau souterrain du gouffre du Chevrier. En période de pluies et lors de la fonte des neiges, le couloir d'entrée du gouffre et les puits font office du collecteur qui apporte une notable contribution au cours d'eau du gouffre.

La résurgence des eaux du gouffre du Chevrier n'est pas encore connue.

Les lapiaz situés entre la Tour de Mayen et celle de Famelon sont typiques d'une région d'altitude déjà élevée, de température moyenne plutôt froide, avec des précipitations abondantes et un fort enneigement. Ils sont en effet très tourmentés, les formes sont profondément et même violemment marquées. En certain endroit, la fissuration est extrêmement abondante. L'importance des dimensions des fissures, tant en longueur qu'en largeur et en profondeur doit jouer un rôle considérable dans le double absorption des pluies et de la neige. La disposition générale de ces lapiaz présente des formes de terrasses successives. Ces terrasses sont séparées les unes des autres par des pans de rochers fortement inclinés, dont les dalles sont striées de cannelures de ruissellement; ou par des escarpements au pied desquels s'ouvrent de larges fissures profondes de plus de 10 mètres et qui renferment d'abondantes quantités de neige. Les lapiaz sont en outre affectés de plusieurs fractures longitudinales (failles ou diaclases) longues de plusieurs centaines de mètres. Ces fractures, largement ouvertes, sont jalonnées d'effondrements, de dolines, puits à neige et glacières naturelles.

Les prospections et explorations récentes effectuées dans la région Mayen-Famelon ont permis de distinguer divers types de cavités qui jouent un rôle dans la circulation souterraine des eaux.

Les puits verticaux sont nombreux dans les lapiaz; ils sont presque tous ouverts sur des diaclases ou intersection de diaclases. Fréquemment, ils possèdent deux ou plusieurs orifices. La neige s'accumule souvent dans ces cavités, elle forme des bouchons situés généralement à une profondeur allant de quelques mètres à 20 ou 30 mètres au maximum. L'action de cette neige se traduit par une dissolution plus vive et un élargissement localisé de la cavité. Dans la plupart des puits contenant de la neige toute l'année, cette dernière s'amoncele dans des salles. La profondeur des puits verticaux explorés dans ce massif varie entre 10 mètres et un peu plus de 40 mètres. La faible épaisseur du Malm s'oppose au creusement de cavités plus profondes.

Plusieurs glacières naturelles s'ouvrent dans les lapiaz. Il s'agit généralement de cavités à deux ou plusieurs orifices et qui sont analogues à toutes les cavités de ce genre. L'une d'elle toutefois, située à l'Ouest de la Tour de Famelon, mérite une mention particulière. Deux puits verticaux de 15 mètres et un puits oblique se rejoignent dans une salle occupée par un banc de glace d'environ 15 mètres à 6 mètres. Il est possible de descendre sous ce banc épais de quelques mètres. On accède alors par un talus de neige à une vaste cavité suivie d'un puits presque vertical entre roche et glace. Ce puits s'achève à -49 mètres dans une petite cavité envahie par la glace. La température dans cette glacière est très voisine de zéro et dans la partie inférieure de la cavité, la glace colmate toutes les fissures de la roche. On ne décèle dans cette cavité aucun suintements, son rôle est donc nul au point de vue de l'absorption des eaux.

Une autre glacière située dans les lapiaz nous a permis d'accéder à une circulation souterraine de la partie inférieure du banc de Malm. Il s'agit d'une cavité à double orifice donnant accès à une salle avec neige et glace. Cette salle a recoupé un boyau très étroit creusé à l'intersection d'une diaclase et d'une strate. Il est possible de suivre en rampant ce boyau sur une trentaine de mètres. Deux puits issus du lapiaz, sans orifices visibles, viennent se greffer sur son parcours; le premier est obstrué mais le deuxième permet après une descente verticale de 47 mètres, d'accéder à une galerie qui



suit le pendage de la roche et qui est parcourue par un cours d'eau souterrain. Cette galerie qui se prolonge en amont et en aval n'a pas encore explorée au delà de 200 mètres. Sa section est constituée par deux parties élargies séparées par une étroite fissure verticale qui n'est que partiellement pénétrable.

Il est probable que ce cours d'eau circule au contact du Sinémurien à la base du banc de Malm; il contribue certainement à alimenter les résurgences très proches de Bryon.

La principale des résurgences de la combe de Bryon s'effectue par la grotte de la Source. Cette grotte est constituée par une galerie de 150 mètres de long. Cette grotte recoupe plusieurs diaclases transversales et s'achève par des fissures montantes obstruées par des éboulis en trémie; ces éboulis provenant sans doute directement du lapiaz.

A l'extrémité Nord de la combe de Bryon, s'ouvrent les deux grottes de la Cathédrale. Il s'agit d'un réseau de galeries parallèles qui recoupent des diaclases transversales. Quelques puits verticaux sans orifices connus en surface se greffent sur ces galeries qui s'achèvent par deux siphons qui restent amorcés même en période sèche. Le développement de ces galeries atteint environ 175 mètres.

Plusieurs autres grottes s'ouvrent dans le haut de la combe de Bryon, elles sont généralement creusées aux dépens de hautes diaclases et comportent plusieurs hautes cheminées qui n'ont pu encore être remontées.

A proximité immédiate du gouffre du Chevrier s'ouvre la grotte Froide, réseau d'environ 200 mètres de boyaux de petites dimensions traversés par des courants d'air très froids.

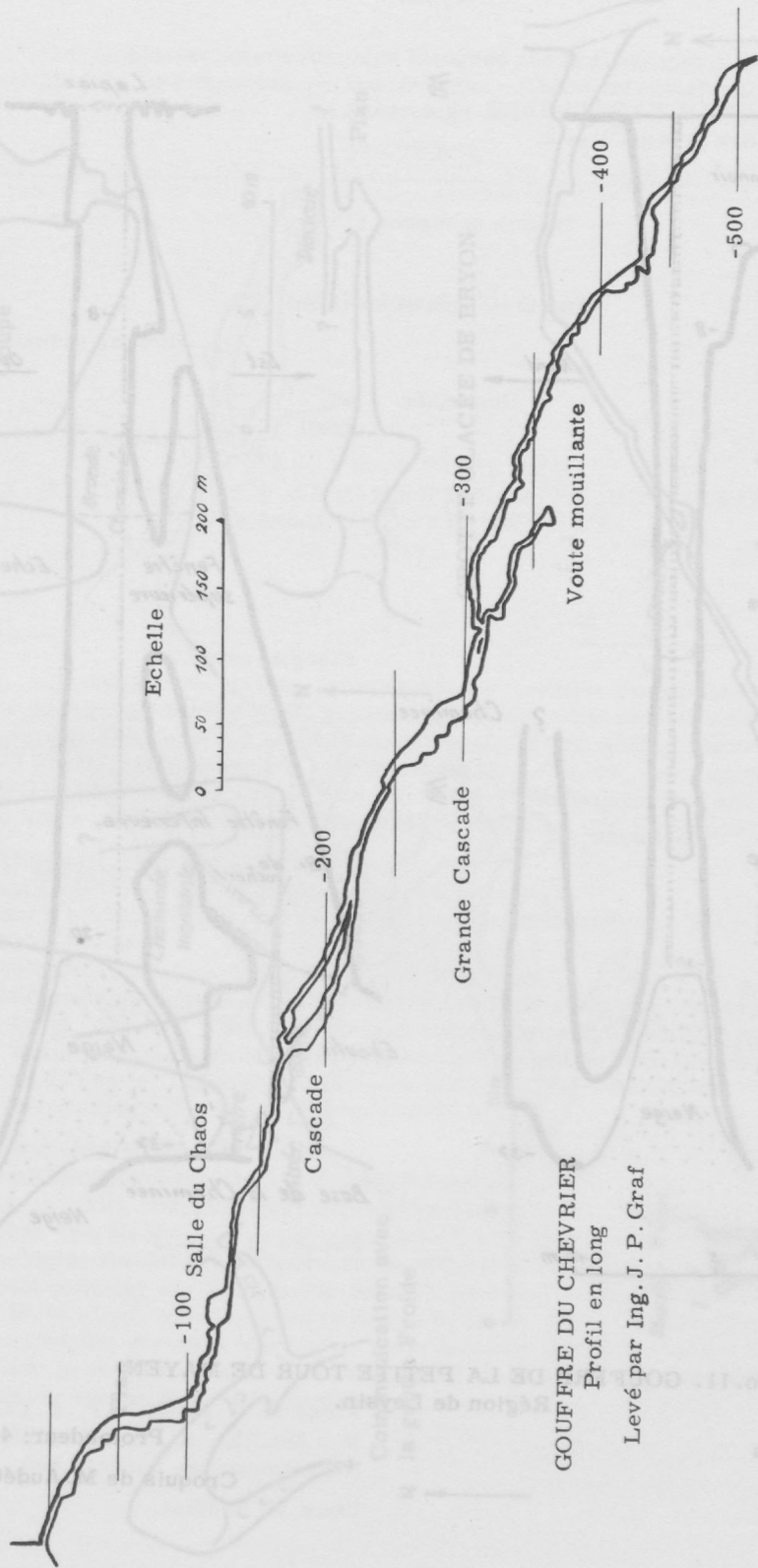
Enfin, la cavité la plus intéressante de la région, le gouffre-grotte du Chevrier qui, avec sa profondeur de -504 mètres se trouve être la cavité la plus profonde de la Suisse. Cette cavité qui comporte des puits, de longues galeries, des cascades, un cours d'eau souterrain et des concrétions sur plus de 1500 mètres de parcours a été explorée en détail par des membres du Club Alpin Suisse de Leysin et par la SAS (Société Autonome de Spéléologie) de Nyon. Les plans ont été établis très consciencieusement par J.P. GRAF de Leysin, aussi nous ne nous étendrons pas sur cette cavité (3, 4).

Par cette note, nous avons voulu attirer l'attention sur une région karstique des Préalpes suisses dont l'étude est en cours, et montrer les possibilités de prospections, d'explorations qui existent dans les massifs calcaires des Préalpes suisses dont l'étude est à peine effleurée.

D'immenses lapiaz existent aussi dans les Alpes calcaires de la Suisse, mais leur accès est difficile et les spéléologues suisses manquent encore des moyens matériels et du temps nécessaire pour entreprendre et mener à bien l'exploration de ces régions.

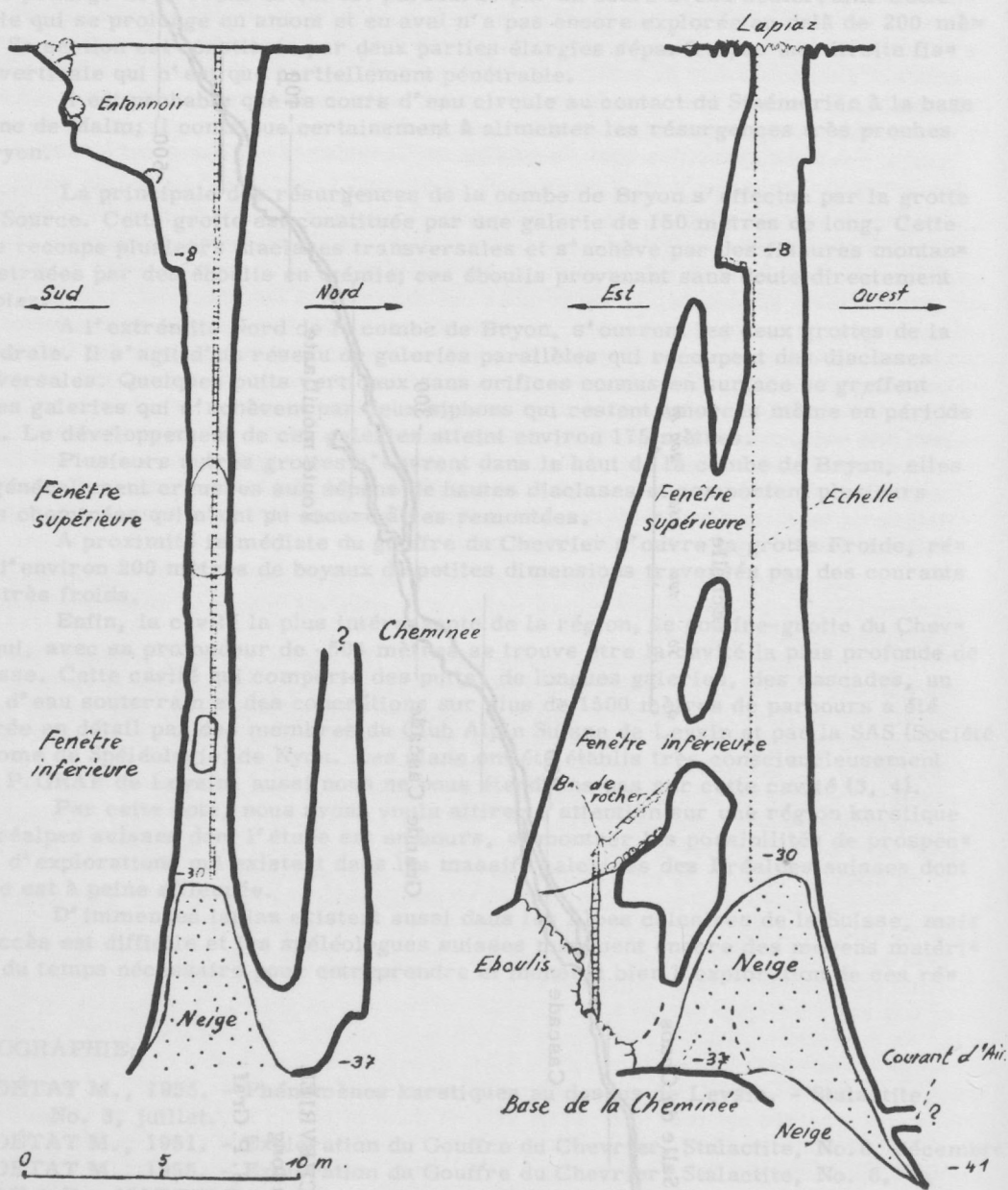
#### BIBLIOGRAPHIE:

- 1) AUDÉTAT M., 1955. - Phénomènes karstiques au dessus de Leysin. - Stalactite, No. 3, juillet.
- 2) AUDÉTAT M., 1951. - Exploration du Gouffre du Chevrier. Stalactite, No.6, décembre
- 3) AUDÉTAT M., 1955. - Exploration du Gouffre du Chevrier. Stalactite, No. 6.
- 4) GRAF J.P., MARTIN R., 1957. - Grotte-gouffre du Chevrier. Bulletin du Comité National de Spéléologie, No. 3.



GOUFFRE DU CHEVRIER  
Profil en long

Levé par Ing. J. P. Graf



No. 11. GOUFFRE DE LA PETITE TOUR DE MAYEN  
Région de Leysin.

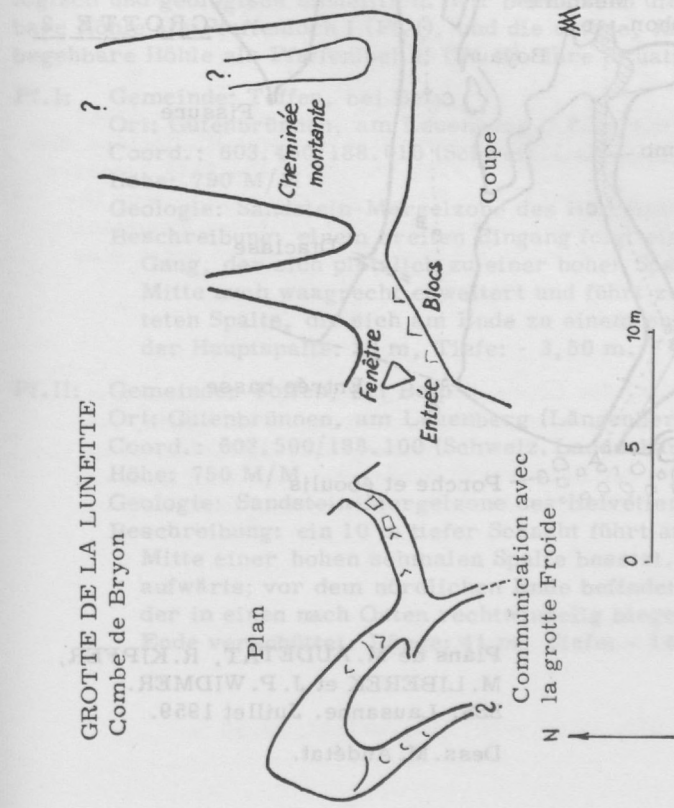
Altitude: 1950 m

Profondeur: 41 m

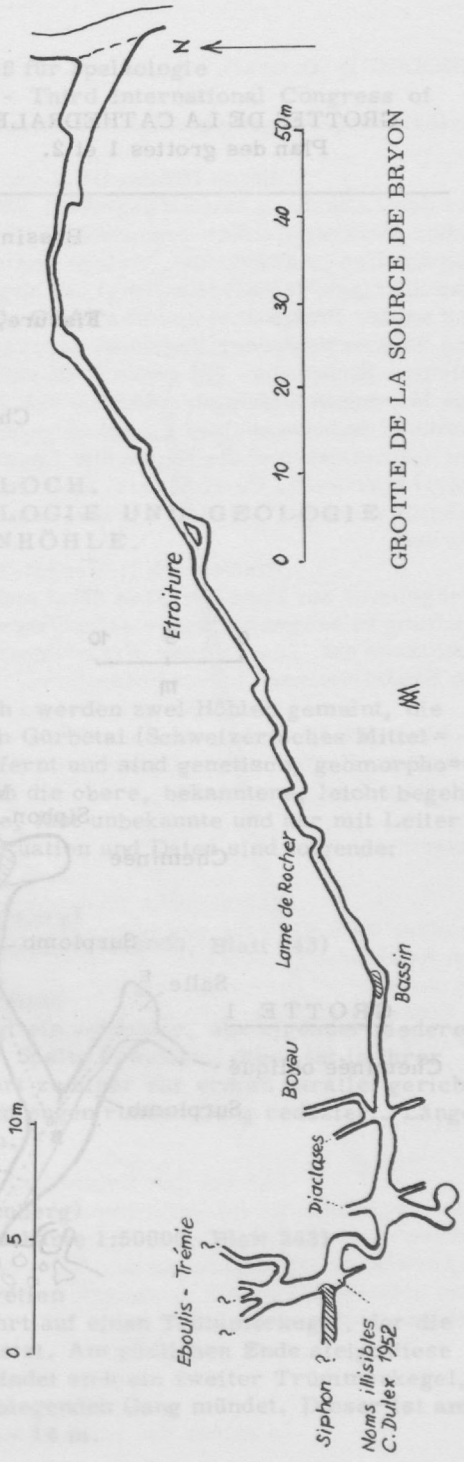
SSS Lausanne

Croquis de M. Audétat.

# GROTTE DE LA LUNETTE Combe de Bryon



# GROTTE GLACÉE DE BRYON

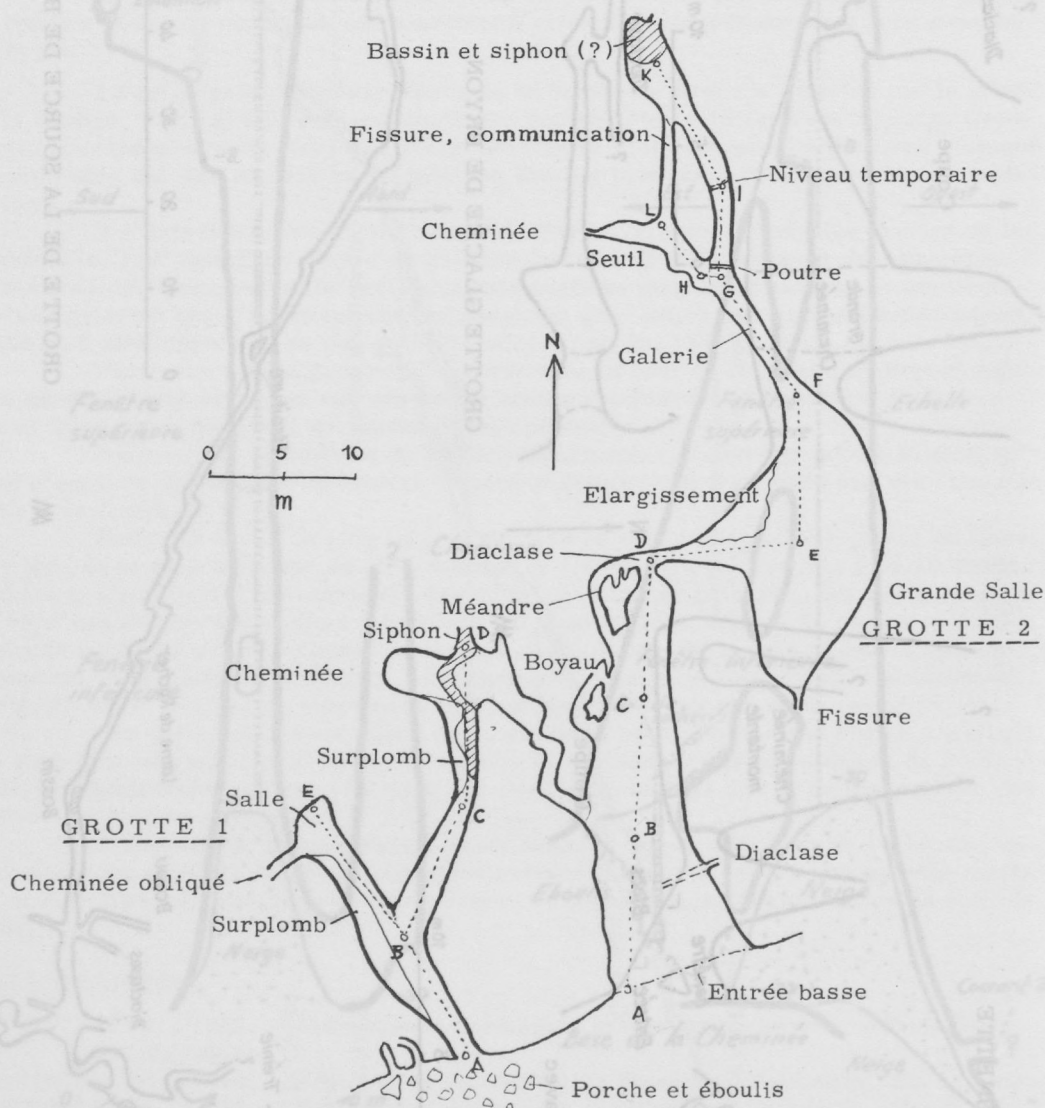


Noms illisibles  
C. Dulex 1952



# GROTTES DE LA CATHEDRALE. Leysin.

Plan des grottes 1 et 2.



Plans de M. AUDETAT, R. KIPFER,  
M. LIBEREK et J. P. WIDMER.  
SSS. Lausanne. Juillet 1959.

Dess. M. Audétat.

SEKTION I

R. BERNASCONI, D. GRAF

DAS PFAFFENLOCH.  
EIN BEITRAG ZUR SEDIMENTOLOGIE UND GEOLOGIE  
EINER SANDSTEINHÖHLE.

Unter dem Namen Pfaffenloch werden zwei Höhlen gemeint, die sich in der westlichen Flanke des Längenbergs im Gürbetal (Schweizerisches Mittel-land) öffnen. Sie sind etwa 50 m voneinander entfernt und sind genetisch, geomorphologisch und geologisch einheitlich. Wir bezeichnen die obere, bekanntere, leicht begeh- bare Höhle als Pfaffenloch I (Pf.I), und die untere, fast unbekannte und nur mit Leiter begeh- bare Höhle als Pfaffenloch II (Pf.II). Ihre Situation und Daten sind folgende:

**Pf.I:** Gemeinde: Toffen, bei Belp.

Ort: Gutenbrünnen, am Leuenberg (Längenberg)

Coord.: 603.450/188.010 (Schweiz.Landeskarte 1:50000, Blatt 243)

Höhe: 790 M/M

Geologie: Sandstein-Mergelzone des Helvétien

Beschreibung: einem breiten Eingang folgt ein schmaler, absteigender niederer Gang, der sich plötzlich zu einer hohen Spalte erweitert; diese ist in ihrer Mitte auch waagrecht erweitert und führt zu einer zur ersten parallel gerich- teten Spalte, die sich am Ende zu einem engen runden Gang reduziert. Länge der Hauptspalte: 20 m, Tiefe: - 3,50 m.

**Pf.II:** Gemeinde: Toffen, bei Belp

Ort: Gutenbrünnen, am Leuenberg (Längenberg)

Coord.: 603.500/188.100 (Schweiz.Landeskarte 1:50000, Blatt 243)

Höhe: 750 M/M

Geologie: Sandstein-Mergelzone des Helvétien

Beschreibung: ein 10 m tiefer Schacht führt auf einen Trümmerkegel, der die Mitte einer hohen schmalen Spalte besetzt. Am südlichen Ende steigt diese aufwärts; vor dem nördlichen Ende befindet sich ein zweiter Trümmerkegel, der in einen nach Osten rechtwinkelig biegenden Gang mündet. Dieser ist am Ende verschüttet. Länge: 41 m, Tiefe: - 14 m.

## GEOLOGIE (D. Graf).

### Erläuterung der geologischen Situation.

Beide Höhlen (Pf. I und Pf. II) befinden sich am Fuß der Sandsteinfluh, die den Leuenberg östlich begrenzt. Der Leuenberg liegt in der Zone der mittelländischen Molasse (tertiär-marine Ablagerung). Seine Sohle wird von den Sandsteinen des Burdigalien (m<sub>2</sub>) gebildet, welche jedoch in dieser Gegend keinen Aufschluß zeigen. Das überlagerte Helvétien (m<sub>3</sub>) ist längs der ganzen östlichen Seite des Leuenberges und an der Fluh selbst anstehend. Burdigalien und Helvétien sind in diesem Gebiete von Bänken polygoner Nagelfluh durchzogen, die, wie die übrigen Schichtungen, einen leichten Einfall (ca. 7°) gegen NNE aufweisen. Längs dem Fuß der Fluh ist ein starkes Mergelband sichtbar. Südlich des Punktes 961 Nord-Leuenberg ist eine schwache Decke Muschelsandstein (m<sub>3g</sub>) aufgeschlossen (Fossilienfundstelle). Die Osthänge des Gürbetales und die Kuppe des Leuenberges sind mit Moräne der Würm-Eiszeit (q<sub>4m</sub>) überdeckt. Östlich, d. h. unterhalb der Fluh ist diese Moränenschicht von den Schuttmassen (a) des Bergsturzes, durch welchen die Fluh entstanden ist, überdeckt worden.

Pfaffenloch I: Mergel-Sandsteinzone des Helvétien. Das beschriebene Mergelband am Fuße der Fluh setzt sich in der Höhle fort <sup>1)</sup>. Dort weist es eine Aufspaltung in schwache Mergelschichten von 1 bis 3 cm Dicke mit Sandsteinlinseneinschlüssen auf. Die Faltung dieser dünnen Mergelschichten ist teilweise stark gequetscht, die Sandsteinlinsen haben Rollenform.

Pfaffenloch II: Mergel-Sandsteinzone des Helvétien. In dieser Höhle wurde keine Mergel-, wohl aber eine zum Teil stark verwitterte Sandsteinbänderung gefunden. Ferner wurde in der Ostwand der Höhle ein ca. 50 cm starkes Band polygoner Nagelfluh festgestellt.

### Entstehung.

Tektonische Veränderungen (Hebung) des Leuenberges dürfte Anlaß zu einer N-S-Klüftung gewesen sein. Beide Pfaffenlöcher sind typische Klufthöhlen, deren Ausdehnung ebenfalls, N - S, also parallel zur Fluh, verläuft. Die Absturzmasse ist postglazial vermutlich auf den schwach geneigten Mergelbändern abgeglitten. Die in Höhle I gefundene Auffächerung der Mergelschicht, sowie die teilweise gequetschte Faltung und die Rollenform der eingeschlossenen Sandsteinlinsen dürften durch eine solche Gleitreibung entstanden sein.

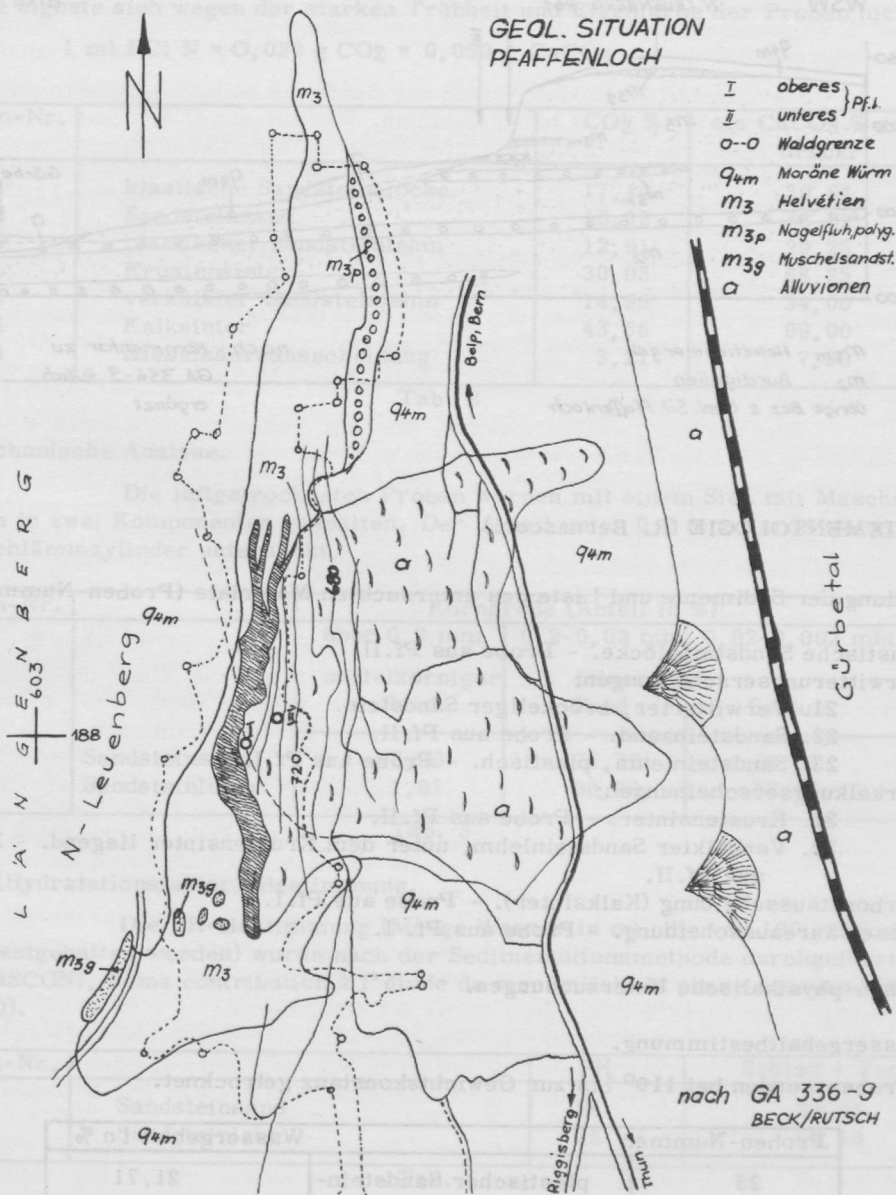
### Hydrologie.

Daß bei der Entstehung der beiden Höhlen, bzw. der Klüftung und beim Abgleiten der Bergsturzmasse hydrologische Momente mitgespielt haben, ist wahrscheinlich. Heute ist die ganze Fluh und Höhle I trocken, hingegen ist in Höhle II Sickerwasser vorhanden. In der Nähe der beiden Höhlen befinden sich zwei Quellen. Eine entspringt ca. 200 m südlich von Höhle II, die andere, eher unbedeutende, am Waldrand östlich von Höhle II.

### Fossilien.

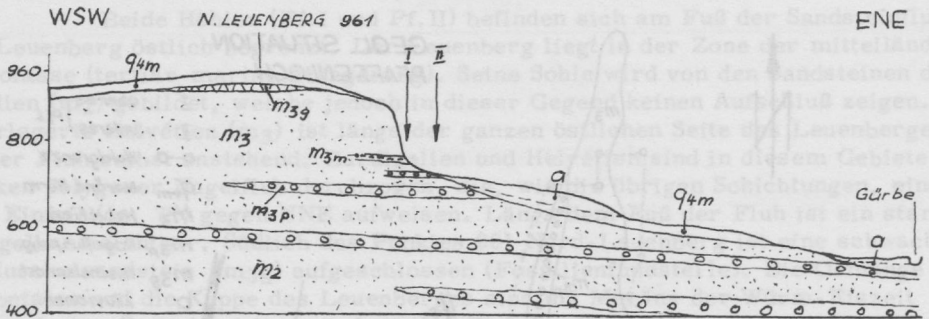
In keiner der beiden Höhlen wurden Fossilien gefunden.

1) Kalkgehalt des Mergels: 10,34 % CO<sub>2</sub>, als CaCO<sub>3</sub> ausgedrückt: 23,50 %.





# GEOL. PROFIL PFAFFENLOCH



*m<sub>3m</sub> Helvétienmargel  
m<sub>2</sub> Burdigalien  
Übrige Bez. s. Geol. St. Pfaffenloch*

*nach Kommentar zu  
GA 336-9 Rutsch  
ergänzt*

## II. SEDIMENTOLOGIE (R. Bernasconi).

Einteilung der Sedimente und Liste des untersuchten Materials (Proben-Nummer).

1. Klastische Sandsteinblöcke. - Probe aus Pf.II.
2. Verwitterungserscheinungen:
  21. Verwitterter, bröckeliger Sandstein.
  22. Sandsteinsand. - Probe aus Pf.II.
  23. Sandsteinlehm, plastisch. - Probe aus Pf.II.
3. Verkalkungserscheinungen:
  31. Krustensinter. - Probe aus Pf.II.
  32. Verkalkter Sandsteinlehm, unter dem Krustensinter liegend. - Probe aus Pf.II.
4. Karbonatausscheidung (Kalksinter). - Probe aus Pf.I.
5. Kieselsäureausscheidung. - Probe aus Pf. I.

Chemisch-physikalische Untersuchungen.

a) Wassergehaltbestimmung.

Die Proben wurden bei 110° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Proben-Nummer		Wassergehalt in %
23	plastischer Sandsteinlehm	21,71
31	Krustensinter	16,62
32	verkalkter Sandsteinlehm	27,80
5	Kieselsäureausscheidung	13,60

Tab. 1

## b) CO<sub>2</sub>-Bestimmung.

Etwa 0,5 g (genau gewogen) der bei 110° getrockneten Probe wurden in 50 ml Wasser aufgeschlemmt und mit 20,00 ml HCl N versetzt. Nach einiger Kochzeit wurde gut abgekühlt und gegen Phenolphthalein mit NaOH N zurücktitriert. Methylorange eignete sich wegen der starken Trübheit und Eigenfarbe der Proben nicht.

$$1 \text{ ml HCl N} = 0,022 \text{ g CO}_2 = 0,050 \text{ g CaCO}_3$$

Proben-Nr.		CO <sub>2</sub> %	als CaCO <sub>3</sub> % ausge- drückt
1	klastische Sandsteinblöcke	17,44	39,64
22	Sandsteinsand	16,82	38,22
23	plastischer Sandsteinlehm	12,91	29,25
31	Krustensinter	30,03	68,25
32	verkalkter Sandsteinlehm	14,96	34,00
4	Kalksinter	43,56	99,00
5	Kieselsäureausscheidung	3,21	7,30

Tab. 2

## c) Mechanische Analyse.

Die luftgetrockneten Proben wurden mit einem Sieb mit Maschenweite 0,2mm in zwei Komponenten gespalten. Der Anteil unter 0,2 mm wurde weiter mit dem Schlämmsylinder untersucht.

Proben-Nr.		Korngröße (Anteil in %)			
		über 0,2 mm mittelkörniger Sand	0,2-0,02 mm feiner Sand	0,02-0,002 mm Schluff	unter 0,002 mm Ton
22	Sandsteinsand	5,80	71,79	18,08	4,33
23	Sandsteinlehm	1,81	38,69	53,02	6,48

Tab. 3

## d) FH (Hydratationsfaktor)-Bestimmung.

Die FH-Bestimmung (Menge Wasser in ml, die von 100 g Trockensubstanz festgehalten werden) wurde nach der Sedimentationsmethode durchgeführt (cf. R. BERNASCONI, 3ème contribution à l'étude du mondmilch: la phase aqueuse. Stalactite, 4, 1960).

Proben-Nr.		FH	Schluff + Ton %
22	Sandsteinsand	54	22,36
23	Sandsteinlehm	85	59,50

Tab. 4

## Beschreibung der einzelnen Sedimente.

### a) Klastische Sandsteinblöcke.

Es sind Sandsteinblöcke von verschiedener Größe, die auf dem Boden der Höhle liegen. Besonders große kommen im Pf.I vor. Im sehr feuchten Pf.II können sie auch eine bröcklige, zu Sand verreibbare Struktur zeigen.

Ihre Entstehung ist eine erste, lokalisierte Verwitterungsform des Sandsteins, der längs Spaltlinien dekalzifiziert wird, dadurch locker und bröckelig wird, und der so frei bleibende Block stürzt zu Boden. Diese Bildungsart ist also dieselbe, die zu den sogenannten chimioklastischen Blöcken der Kalkhöhlen führt (MONTORIOL - POUS: Los procesos clásticos hypogeos, Rassegna speleologica italiana, 4, 1951).

#### b) Verwitterungserscheinungen.

Die klastischen Blöcke, sowie der Sandstein selbst verwittern unter dem Einfluß atmosphärischer Agentien zu losen Gebilden. Wie aus den  $\text{CO}_2$  - Bestimmungen hervorgeht, beruht diese Verwitterung in erster Linie auf eine Dekalzifizierung durch  $\text{CO}_2$  - haltiges Wasser (Tab. 2, Proben 1, 22, 23). Es entsteht zuerst ein bröckeliges, zu Sand verreibbares Gestein, das leicht ins Rutschen kommt, wobei die Reibung eine abrasive Wirkung ausübt und den Sandstein in Sandsteinsand verwandelt. Dieser bedeckt ausnahmslos den Boden beider Höhlen; im Pf. II endet der Eingangsschacht auf einem 4 m hohen Trümmerkegel, der zum großen Teil aus diesem Sand besteht. An feuchten Stellen bildet er nasse Klumpen, die jedoch nicht plastisch sind. Im Pf. I. beobachteten wir auf feuchten Sandstellen Tropftrichter mit einem Durchmesser von 1 - 3 cm und bis zu 12 cm Tiefe. Das herabtropfende Wasser sammelt sich aber nicht in diesen Trichtern, sondern versickert sofort.

Eine weitere Dekalzifizierung, die sehr wahrscheinlich durch eine chemische Auflösung der Kieselsäureverbindungen und eine mechanische abrasive Wirkung durch lokale Bewegungen unterstützt ist, führt zu dem Sandsteinlehm. Dieser besteht zum großen Teil aus Schluff (Tab. 3) und bildet mit Wasser eine eintönige grau - grüne zähe plastische Masse, die vergleichbar ist mit dem normalen Höhlenlehm. Zum Unterschied aber zu den autochthonen Höhlenlehm aus Kalksteinhöhlen, zeigt der Sandsteinlehm einen höheren Schluffgehalt. Autochthone Höhlenlehm aus dem Hölloch (BÖGLI A.: Der Höhlenlehm. Atti del simposio internazionale di speleologia, Memoria 5a. RSI, 1961) hat nur 12,3 - 16,3 % Kalk und besteht aus 10,0 - 19,0 % Ton, 23,4 - 41,5 % Schluff und 39,5 - 66,6 % Feinsand. Die Summe des Ton - und Schluffanteiles beträgt für autochthone Höhlenlehm aus Kalksteinhöhlen (Hölloch) 33,4 - 60,5 % und aus Sandsteinhöhlen (Pfaffenloch) 59,5 %, letzterer ist also durchschnittlich etwas höher. Die deutliche Plastizität dieses Sandsteinlechmes ist durch den höheren Tonanteil, der zusammen mit dem Schluff für den auch höheren FH - Wert verantwortlich ist (Tab. 4.), bedingt. Besonders im Pf. II bekleidet dieser Sandstein die Wände, aber auch den Boden. Man kann ihn als Endstadium der Verwitterung des Sandsteins bezeichnen.

#### c) Verkalkungserscheinungen.

Die durch Dekalzifizierung des Sandsteins entstandenen losen Gebilde können sich durch Verkalkung wieder zu festen Gebilden weiterformen. Die Kalkquelle ist wiederum der Sandstein selbst, der 17,44 %  $\text{CO}_2$  resp. 39,44 %  $\text{CaCO}_3$  enthält.

Solche Verkalkungserscheinungen trafen wir im Pf. II als Krusten - sinter. Dieser bekleidet die Wände des östlichen und nördlichen Ganges und erscheint als oberflächliche, grau - grüne harte und höckerige Kruste. Die Krustendicke variiert von 1 bis 5 mm und mehr; die sehr dünnen Krusten lassen sich unter Fingerdruck leicht zerbrechen, wobei eine von Wasser durchtränkte plastische Masse zum Vorschein kommt. Diese besteht aus Sandsteinlehm, der an Karbonaten angereichert ist. Der Bildungsprozess dieser Krusten ist folgender: Der durch Dekalzifizierung der Sandsteinwände gebildete Sandsteinlehm bindet, dank seinem großen Hydratationsfaktor (Tab. 4) das herabrieselnde Wasser, wobei eine stark hydratisierte plastische Masse entsteht. (Tab. 1). Diese erleidet daher eine kleinere Kalkgehaltsabnahme (Tab. 2). Die an seiner Oberfläche erfolgende Verdunstung bewirkt erstens, daß sich eine lokale und interne, die Oberfläche mit Karbonaten anreichernde Zirkulation der wässrigen

Phase einstellt, und zweitens, daß die oberflächlichen Schichten zu Krusten erhärten. Diese Erhärtung ist nicht nur der Verdunstung zuzuschreiben, sondern auch der Ausfüllung der Karbonate, die die Sandsteinpartikeln zementieren.

Dieser Vorgang ist also der Bildung von sekundären Konkretionen aus hydratisierter Mondmilch analog (BERNASCONI R.: 4ème contribution à l'étude du mondmilch: l'évolution physicochimique. Atti del simposio internazionale di speleologia, Memoria 5a. RSI, 1961).

#### d) Karbonatausscheidungen.

Als reine Karbonatausscheidung fanden wir im Pf. I in einer Grenzspalte zwischen Sandstein und Mergelschicht eine weißlich-gelbliche Kalzitkonkretion, die in dichten Lamellen den Spalt ausfüllte. Die  $\text{CO}_2$ -Bestimmung ergab einen recht hohen Wert (Tab. 2). Zu seiner Bildung muß angenommen werden, daß die durch Dekalzifizierung des Sandsteins entstandene Bikarbonatlösung in dieser Spalte Karbonate in kristalliner Form fällt.

#### e) Kieselsäureausscheidung.

Diese interessante, am Eingang des Pf. I auf der linken Höhlenwand gefundene Ausscheidung, die wir zuerst als Kalkausscheidung vermuteten, erwies sich bei näherer Prüfung als Kieselsäureausscheidung. Diese besteht aus direkt aus dem Sandstein herauswachsenden, leichten, zerreibbaren, weißlichen Blättchen und Körnern, die einen Durchmesser von 0,5 bis 4 mm aufweisen.

Der Kalkgehalt beträgt nur 7,3 %. Nach Behandlung mit heißer  $\text{HCl}$  N und  $\text{NaOH}$  N, und Auswaschen mit Wasser erhielt man einen Gel, der mit kristallinen Körnern vermischt war. Die amorphe Struktur zeigte das Polarisationsmikroskop deutlich: Der kristallinische Anteil bestand aus Quarzkörnern, die vom Sandstein bei der Probeentnahme stammen. Eine Trennung des amorphen Anteiles war wegen der geringen Mengen der Probe nicht möglich. Die Ausscheidung löste sich nach einigem Kochen schon in 10% iger Sodalösung auf, was auf hydratisierte Kieselsäure deutet. Die Solvatationswasseraufnahme betrug 9,25 %, der totale Wassergehalt 13,6 %. Diese Ausscheidung ist also als Kieselsäure-Xerogel aufzufassen, und ist, wenigstens in seiner Zusammensetzung, mit dem Geyserit vergleichbar. Über seine Entstehung kann man drei Hypothesen formulieren. Die erste stützt sich auf die zersetzende Wirkung der Kohlensäure auf die Kieselsäureverbindungen. Nach OSTWALD (OSTWALD: Chimie inorganique, 1906) beruht der Gehalt an Kieselsäure in Wässern auf diesem Vorgang. Obwohl Kohlensäure eine etwas stärkere Säure ist als Kieselsäure, ist erstere doch viel flüchtiger, sodaß diese Zersetzung kaum möglich ist. Die zweite stützt sich auf die Tatsache, daß im tropisch-feuchten Klima viel Kieselsäure gelöst wird, dank der alkalischen Reaktion des Wassers. Ähnliche Verhältnisse waren auch in unseren Gegenden vorhanden, besonders während des Tertiärs (GÈZE B.: Sur la genèse des cavités souterraines et de dolines dans les roches non carstiques. Ann. spéléol., T. 6, 2-3, 1951). Es ist jedoch ausgeschlossen, daß diese Ausscheidung von diesen Zeiten stammt.

Die dritte Hypothese beruht auf der Tatsache, daß das saure  $\text{CO}_2$ -haltige Wasser eine alkalische Reaktion annimmt, sobald es Bikarbonate enthält, wobei das pH bis 9,9 nach TILLMANNs ansteigen kann. Eine solche Lösung ist auch fähig, Kieselsäure aufzulösen, und der Karbonatgehalt der Ausscheidung widerspricht dieser Hypothese nicht. Die primär gebildeten einfachen  $\text{SiO}_2\text{-OH}$ -Säuren (Ortho- und Metakieselsäure) polymerisieren zu dreidimensionalen gitter- oder wabenförmigen Strukturen, die Wasser adsorptiv festhalten und Gele zu bilden vermögen. Durch Verdunstung wird die Verknüpfung gesteigert, bei der Austrocknung entweicht das Wasser, mit Ausnahme des Hydratationswassers, ganz aus und führt zur Bildung der Trockengele (Xero-Gel) (HOFFMANN-RUEDORF: Anorganische Chemie 1956).

Im feuchten Inneren der Höhle verbleibt die ausgelöste Kieselsäure im kolloidalen Zustand und wird vom Sinterwasser weggespült, während diejenige am trockenen Eingang zur Ausscheidung kommt.





František SKRIVANEK

## DAS VORKOMMEN VON ARAGONIT IN DEN TSCHECHOSLOWAKISCHEN HÖHLEN

Auf dem Internationalen Speläologischen Symposium in Varenna (Italien) habe ich auf ein interessantes Vorkommen von Aragonit in den Höhlen des Böhmisches Karstes aufmerksam gemacht. Im Gegensatz zur größten Aragonithöhle der Tschechoslowakei bei Zbrašov, unweit von Bad Teplica na Moravě (Mähren), sind diese Höhlen nicht an die Austritte thermaler Mineralwässer gebunden. Die geologische Position und die Lage der Höhlen schließt sogar die Möglichkeit des Auftretens derartiger Wässer aus, die eine höhere Temperatur im Höhleninneren hätten bewirken können. Es ist sogar nicht einmal möglich, eine thermale Phase im Altquartär anzunehmen, weil alle Aragonite rezent sind. Das Studium der Stratigraphie der Höhlensedimente hat gezeigt, daß die Aragonite gemeinsam mit Sinterüberzügen die jüngsten Schichtglieder darstellen. Die gleichzeitig aufgefundene und untersuchte Fauna hat bewiesen, daß die Ablagerungen einer jüngeren Zeit als der letzten Vereisung (Würm) angehören.

Bei den in jüngster Zeit durchgeführten Forschungen konnte ich feststellen, daß im Böhmisches Karst mehrere normale Karsthöhlen mit Aragonitausschmückung vorkommen. Der Aragonit ist sehr unauffällig; er kommt nur in trockenen Räumen an den Höhlenwänden vor. Es handelt sich zumeist um einige Millimeter lange Nadeln, die zu büschel- und strauchartigen Gebilden vereinigt sind. Diese Aragonite wurden früher für Kalzit gehalten. Um jeden möglichen subjektiven Fehler bei der Bestimmung zu vermeiden, habe ich alle Proben, die vorläufig nach der mikroskopischen Untersuchung als Aragonit bezeichnet wurden, einer röntgenographischen Messung unterzogen. Dadurch wurde ihre rhombische Symmetrie bewiesen.

Im folgenden möchte ich alle jene Höhlen mit Aragonitausschmückung besprechen, die bisher im Gebiete der ČSSR festgestellt worden sind. Die meisten befinden sich im sogenannten Böhmisches Karst. Dieses Gebiet liegt westlich von Prag und ist aus Kalken des Silur und des Devon aufgebaut. Diese Kalke gehören dem Kern der kaledonischen Synklinale an.

Die Höhle "Jeskyně Stydlé vody" liegt an der Grenze zwischen Silur- und Devonkalken und ist 20 m lang. Unweit des Einganges sind die Wände nahe der Sohle mit honiggelben bis weißen Aragonitnadeln bedeckt. Im Kalkstein wurde die Beimischung von 0,7% Sr und 0,9% Mg festgestellt. Im Aragonit wurde 1% Sr und in einigen Proben bis 1,5% Mg gefunden.

Die Höhle "Jeskyně v Cisařské rokli" liegt in devonischen Kalksteinen. Sie ist etwa 15 m lang und bildet einen steil aufsteigenden Gang oberhalb einer Karstquelle. In ihrem oberen Teile liegen auf den Wänden Beläge aus weißen bis durchsichtigen kleinen Aragonitnadeln. Bei Analysen wurden im Kalkstein 0,6% Sr und 2,3% Mg festgestellt.

Die Höhle "Fialová jeskyně" ist etwa 150 m lang und gegen das Höhleninnere stark abfallend. Sie ist in Kalken des oberen Silur ausgebildet. Der Aragonit bildet dort isolierte winzige Gruppen weißer Nadeln, die höchstens 2 mm lang sind. Sie enthalten 1,0% Sr und 0,01% Ba, der Kalkstein dagegen nur 0,01% Sr und 0,001% Ba.

Die "Tetinská chodba" ist eine etwa 50 m lange, in Kalken des unteren Devon gebildete Höhle. Der Aragonit kommt in ihr nur sehr selten und in Form schmutzigweißer Nadeln vor. Vereinzelt wurde in dieser Höhle auch Onyx gefunden. Der Aragonit aus dieser Höhle enthält 1% Sr und 0,1% Ba, der Kalkstein etwas mehr als 1% Sr und 0,01% Ba.

Der Schacht "Tomášková propast" ist ein 40 m tiefer kaminartiger Höhlenraum, der in den höchsten Schichten silurischer Kalksteine entstanden ist. Die Aragonitvorkommen sind in diesem Schachte nur mikroskopisch klein. Material für chemische Analysen wurde nur vom umgebenden Kalkstein entnommen. In diesem wurden 1% Sr und 0,1% Ba festgestellt.

In den Aragoniten, bzw. Kalksteinen der untersuchten Höhlen treten durchwegs auffallend hohe Anteile von Sr hervor, in einigen Fällen auch kleinere Anteile von Ba oder größere von Mg. Die übrigen Kationen, z.B. Pb, Zn, Al, oder Anionen, wie  $\text{SO}_4$  usw., haben entweder überhaupt keine Bedeutung oder sind nur in Spuren nachweisbar. Der Anteil von Si, den ich bei den Analysen nicht erwähnte, ist sehr verschieden und schwankt von 0,1 bis 2,0%. Kalksteine, in denen sich Höhlen ohne Aragonitvorkommen befinden, enthalten auch kein Sr.

Infolge dieser Feststellungen habe ich die untersuchten Höhlen in eine Gruppe zusammengefaßt, der ich vorläufig die Bezeichnung "normale Aragonithöhlen" geben möchte. Für diese Höhlen ist charakteristisch:

1. Das flächige Vorkommen von Aragonit. Der Aragonit kommt in Form von kleinen gelben bis durchsichtigen nadelartigen Büscheln vor, die auf trockenen Sintern oder trockenen Höhlenwänden aufsitzen.
2. Der Aragonit ist rezent. Ältere Aragonite sind wahrscheinlich spontan in Kalzit übergegangen.
3. Die Höhlen werden nicht von unterirdischen Gerinnen durchflossen.
4. Die Höhlen liegen in Gebieten, in denen es zur Zeit der Entstehung des Aragonits keine Austritte von Mineralwässern oder Gasexhalationen gab.
5. Die Kalksteine und Aragonite enthalten größere Anteile von Sr, die über 1% ansteigen können.

Offensichtlich spielten bei der Entstehung der Aragonite die Vorkommen von Strontium eine entscheidende Rolle. Aus den Lösungen kristallisierte zuerst der rhombische Strontianit aus. Auf dessen Kristallgitter lagerten sich dann beim Kristallwachstum Anteile von Kalziumkarbonat an, und zwar in rhombischer Form als Aragonit. Auf diese Weise entstand auch bei normalen Temperaturen die höher temperierte Modifikation des Kalziumkarbonats.

Die zweite Gruppe der Aragonithöhlen bezeichne ich als "thermale Aragonithöhlen". Diese Gruppe ist in der ČSSR bisher nur durch eine einzige Höhle, jene von Zbrašov in Nordmähren, vertreten. Die Entwicklung der Höhle von Zbrašov ist das Ergebnis eines außergewöhnlichen Verkarstungsprozesses. Durch die gemeinsame Einwirkung mineralhaltiger Thermalwässer und warmer Kohlendioxidexha-

lationen auf die devonischen Kalksteine entstanden eigenartige Korrosionshöhlen, die mit Limonit, Onyx und Aragonit erfüllt sind. Der Aragonit entstand in diesem Falle unter dem Einfluß des erwärmten Kohlendioxyds und stellt damit eine echte Hochtemperaturform des kristallisierten Kalziumkarbonates dar. Die thermalen Aragonithöhlen sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

1. Der Aragonit ist eine großflächige Ablagerung. Die Nadelbüschel und einzelne Nadeln sind bis zu 10 cm lang.
2. Der bei höherer Temperatur gebildete Aragonit geht, solange die Exhalation wirksam bleibt, nicht in Kalzit über.
3. Die Höhlen liegen im Bereich mineralhaltiger Thermalquellen.
4. Kalksteine und Aragonite dieser Höhlen haben keinen größeren Sr-Anteil.

Außer den bereits erwähnten Höhlen wurde in den letzten Jahren eine weitere Aragonithöhle in der Slowakei entdeckt, die sehr schöne Eisenblüten enthält. Eine genaue Analyse der dort herrschenden geochemischen Prozesse wurde bisher noch nicht durchgeführt. Die Höhle liegt jedenfalls nicht im Bereich mineralhaltiger Thermalquellen. Neben dem Aragonit kommt auch Limonit vor. Es scheint, daß diese Höhle ähnlichen Ursprungs wie die Höhlen des Böhmisches Karstes ist.





SEKTION I

Н. А. ГВОЗДЕЦКИЙ

ЛЕДЯНЫЕ ПЕЩЕРЫ СССР

В СССР ледяные пещеры /точнее, пещеры-ледники/ имеют очень широкое распространение. Они известны: в Крыму - Большой Бузлук на Караби-Яйле/6/, колодцы Айпетринской Яйлы и др.; на Кавказе - Сакинули в Западной Грузии/7, 13, 20/, колодцы на Арабике/5, 6, 21/; на Русской равнине - Шаньгинская в Архангельской области/18, 19/, Холодная, или Ледяная пещера Ичалковского бора на р. Пьяне/9, 12/, Скуеевские пещеры на Волге/14, 15/; в Приуралье и на Урале - большое количество ледяных пещер, в том числе знаменитая Кунгурская/1, 8/; в Восточной Сибири - Балаганская на Ангаре/4, 16/, Нижнеудинская/17/, Вирусинские, Абогыдже /"жилище черта"/ на р. Мае/11/ и др.

По личным наблюдениям автору доклада известны крымские, Кунгурская и Балаганская ледяные пещеры.

Большой Бузлук в Крыму представляет собой слепую холодную пещеру типичной мешкообразной формы /"Sackhöhle"/. Сложнее морфологически Кунгурская и Балаганская пещеры.

Кунгурская пещера среди пещер СССР является одной из самых крупных. Суммарная длина всех ее проходов и зал свыше 6 км. Она относится к типу сквозных, или продувных холодных пещер /"Windröhre"/ с меняющимся в теплое и холодное полугодия направлением тяги воздуха.

Пещера выработана в породах пермского возраста - гипсах, залегающих среди известняков и доломитов. В ней привлекают внимание не только замечательные ледяные образования передних гротов, но также величественность многих залов, разнообразие форм пещерных полостей и скульптуры их стен.

Передние залы Кунгурской пещеры характеризуются обилием гидрогенных льдов и сублимационных ледяных кристаллов изумительной красоты.

Балаганская пещера имеет около 1 км суммарной длины проходов и зал, приуроченных к перекрещивающимся системам трещин. Эта пещера вы-

работана в кембрийских породах и образована путем выщелачивания слоев и линз гипса, которые залегают в пограничных горизонтах доломитовой ангарской свиты и мергелисто-глинистой красноцветной верхоленской свиты.

Проходы пещеры располагаются в четыре этажа /три основных и "подвальный"/, занимающих по вертикали 37 м. В большинстве галерей температура воздуха равна  $-2^{\circ}$ ,  $-1^{\circ}$ , на их сводах и стенах имеются кристаллы льда, а на дне очень часты ледяные коры и наплывы. Некоторые из галерей имеют положительную температуру воздуха и лишены ледяных образований.

Балаганская пещера, как и Нижнеудинская, также относится к типу сквозных, или продувных /"Windröhre"/, но, помимо этого, вообще ледяные образования в пещерах Восточной Сибири следует рассматривать как особую форму проявления вечной мерзлоты.

В Кунгурской и Балаганской пещерах особенно большой интерес представляют ледяные кристаллы, которые выражены здесь в классической форме.

Кристаллизация происходит в результате процесса сублимации, т.е. перехода в твердое состояние не жидкой фазы воды, а парообразной. Главным условием образования крупных кристаллов льда является постоянство среды на протяжении нескольких месяцев /более полугода/ при непрерывной, но медленной циркуляции холодного воздуха, насыщенного ледяными парами /2/. В Кунгурской пещере ток холодного воздуха осуществляется почти круглогодично /в разных лишь направлениях зимой и летом/, таким образом здесь налицо постоянное наличие в передних гротах отрицательной температуры воздуха, насыщенного водяными парами, и медленная постоянная его циркуляция. По В.Альтбергу, это приводит к "пышной кристаллизации со значительным разнообразием неисчислимых новых форм ледяных кристаллов".

Кристаллы по строению относятся к гексагональной системе. В отличие от снежинок, они простираются в трехмерном пространстве. Среди исключительного разнообразия форм наиболее часто выделяются шестигранные чаши со спиралеобразным завитком шестигранного же строения. Завитки бывают либо одинарные, либо, еще чаще - двойные /2/. Граненные пирамидальные спирали-бокалы с двойными завитками чаще всего наблюдаются и в Балаганской пещере /3/.

В.А.Альтберг отмечает, что "из огромного количества холодных пещер, содержащих обычного вида лед в форме натеков и сталактитов, лишь в очень редких единичных случаях имеет место богатая и обильная по разнообразию форм кристаллизация. В этом отношении самой замечательной является знаменитая Кунгурская пещера..." /2/. Будучи лично знаком с Кунгурской пещерой, я должен заметить, что ледяные образования, и

именно ледяные кристаллы Балганской пещеры в Приангарье, произвели на меня ничуть не меньшее впечатление, к тому же протяженность оледенелых частей пещеры там большая. Основания пирамид ледяных кристаллов достигают 4 см в "диаметре". Друзы таких кристаллов пышным убором одевают стены и потолки пещерных галерей. Вырастая на спускающихся с потолка стебельках травы, кристаллы образуют пушистые гирлянды, сверкающие отблесками огня.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1.Альтберг В.Я. Кунгурская ледяная пещера. Природа, № 10, 1930.
- 2.Альтберг В.Я. О редких и своеобразных кристаллических формах льда. Природа, № 12, 1934.
- 3.Гвоздецкий Н.А. Ледяные образования Балаганской пещеры в Приангарье. Природа, № 9, 1950.
- 4.Гвоздецкий Н.А. Балаганская пещера в Приангарье. Землеведение, нов.серия, т.У/XIV/, 1960.
- 5.Крубер А.А. Поездка на Арабику. Естествознание и география, М1, 1912.
- 6.Крубер А.А. Карстовая область горного Крыма. Москва, 1915.
- 7.Леонов В. Озера Нижней Рачи. Землеведение, т. IX, кн. 2-3, 1902.
- 8.Лукин В.С., Рыжиков Д.В., Турышев А.В. Кунгурская ледяная пещера. Свердловск, 1955.
- 9.Мазарович А.Н. Провалы и пещеры юго-восточной части Нижегородской губернии. Землеведение, кн. 3-4, 1912.
- 10.Максимович Г.А. Пещерные льды. Изв. Всес. геогр. о-ва, т. 79, № 5, 1947.
- 11.Махаев В.Н. Ледяная пещера Абогыдже. Изв. Гос. геогр. о-ва, т. 71, вып. 6 1939.
- 12.Монахова В.И. и Булочкина А.С. Поездка летом 1925 г. в южную часть Нижегородской губернии. Землеведение, т. 28, кн. 3-4, 1926.
- 13.Сахаров Н. Пещеры-ледники Закавказья. Изв. Русск. геогр. о-ва, т. 28, вып. 4, 1892.
- 14.Ступишин А.В. и Мухитдинова Д.Х. Сюжеевские пещеры. Казань, 1950.
- 15.Ступишин А.В. Пещерные льды Среднего Поволжья и природа их образования. Спелеология и карстование, сборн. Географической секции Моск. общества испытателей природы, Москва, 1959.
- 16.Чарушин Г.В., Вологодский Г.П. К выяснению роли трещиноватости в развитии карста южного Приангарья. Материалы по подземным водам и инженерной геологии Вост. Сибири. Тр. Вост.-Сиб. филиала Сиб. отд. АН СССР, вып. 15, сер. геол., 1958.
- 17.Черский И.Д. Отчет об исследованиях Нижнеудинской пещеры. Изв. Сиб. отд. Русск. геогр. о-ва, VII, 1876.

18. Чижишев А.Г. Карстовые пещеры СССР. Спелеология и карстование, сборн. Географической секции Моск. общества испытателей природы, Москва, 1959.
19. Чижишев А.Г. и Андреев В.М. Новые данные о гипсовой пещере близ г. Пинеги. Материалы Комиссии по изучению геологии и географии карста, Информационный сборник №1, Москва, 1960.
20. Dubois de Montpèreux F., Voyage autour du Caucase, t. II, III, Paris, 1839
21. Martel E.A., La Côte d'Azur Russe (Riviera du Caucase). Paris, 1909.

Н.Гвоздецкий

1, .XII.1961

Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology

SEKTION I

William B. WHITE

CAVERN AND KARST DEVELOPMENT IN THE SWAGO CREEK AREA  
WEST VIRGINIA, USA

INTRODUCTION

The Swago Creek Area is located in Pocohantas County, West Virginia, in the Allegheny Mountains Province of the Appalachian Mountains. Swago Creek is a tributary of the Greenbrier River and derives its water from two large springs which drain 19 square kilometers. The topography is rugged with a total relief of 600 meters from river level to the mountain tops. Relief in the karst area itself varies from 100 to 200 meters. Present day base level is controlled by the Greenbrier River at 670 meters elevation. A well-developed erosion surface is shown by accordant ridge summits at 830 meters - 160 meters above base level and 100 meters above the base of limestone. The Swago Creek karst is developed on the 130 meter thick sequence of Mississippian Greenbrier limestone. The Mountains overlooking the karst are composed of shales and sandstones. The rocks are here dipping gently to the west. No extensive folding or metamorphism has affected the Area.

KARST AND CAVES.

The Swago Creek Karst is Characterized by occasional karren on the ridge sides where resistant limestone units outcrop and a doline-karst, which is only well-developed on the 830 meter erosion surface. Nine streams flow from the clastic rocks of the mountain sides and sink into the limestone at the contact. With one exception these streams sink gradually into their beds with no enterable opening developed. Downstream from the ponors the stream channels cross the limestone outcrop entirely dry. Near the lower contact the streams emerge from the spring entrances of Cave Creek Cave and Overholt Blowing Cave.

Exploration of the Swago Creek Cave Systems has occupied much of the time of the Pittsburgh Chapter of the National Speleological Society and the Pittsburgh Explorers Club during the past six years. More than 40 entrances have been discovered. Two of these are large cavern systems. Eight are caves with 100 to 500 meters of gallery. The remainder of the openings are either small caves less than 100 meters long or vertical shafts with no connection to the cave system-.



The Carpenter's Pit System contains 5 km of surveyed passages. The main entrance, a 25 meter shaft, brings one into a 100 meter long room. The cave extends in two main branches, one from each end of the room. The western branch is two km long following a N 60° E joint for much of its length. The west branch extends completely under a spur of Swago Mountain and is 200 meters below the surface in places. It carries a stream from the far side of mountain to the entrance room. The east branch extends about 1 km. Three hundred meters from the entrance room one can climb a series of 10 meter high waterfalls and arrive at the base of an 18 meter shaft leading to the surface. The main part of the east branch by-passes the second entrance shaft and continues, without a stream, 700 meters to a terminal breakdown. Most of the Carpenter's System is developed at the 800 meter level. The streams have cut about 15 meters below the 800 meter level as a series of deep narrow canyons. At the lowest levels the present day streams have left the main cave system and are running in small unexplored channels.

Overholt Blowing Cave is essentially one long gallery following an underground stream along a course roughly N 15° E. Five km have been surveyed with perhaps 1 - 2 km still to be done. One enters at the spring near the base of Greenbrier limestone where much of the water of Swago Creek appears at the surface. The stream remains at the same level for nearly 3 km to a room where it falls abruptly 40 meters from a higher level in a series of three cascades. Beyond the top of the cascades, the stream is flowing at the same elevation as much of the Carpenter's System for another kilometer. Then at the upstream end are two cascades where the stream falls another 40 meters from a still higher level. The cave has not been surveyed beyond this point but exploration has continued another 500 meters by crawling in the stream. The Overholt Blowing Cave stream apparently obtains its water from numerous shafts which connect with the main passage through small drain tubes.

A detailed physical description of the caves will be published elsewhere (WHITE, 1960).

## STRATIGRAPHY.

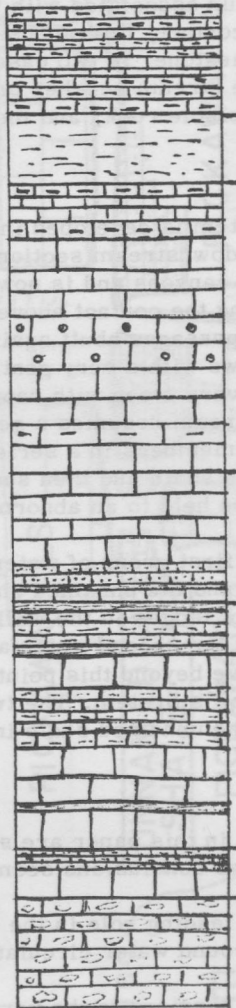
The West Virginia Geological Survey (MC CUE, LUCKE and WOODWARD, 1939) has divided the Greenbrier limestone into nine units (figure 1). The lithology of the units varies widely from unit to unit and also within the same unit. The shale members are of most interest here. There are five such beds, although only three have been named by the survey. They are: the Patton shale ( 3 meters thick), the Taggard formation ( 8 meters thick) an unnamed shale in the upper part of the Union limestone (2 meters thick). Most of these should be called argillaceous limestones rather than true shales since chemical analyses show that the Taggard formation, for example, averages 79% CaCO<sub>3</sub>. It will be the main purpose of this paper to examine the controlling effect of the shales on cave and karst development.

## THE LOCATION OF SHAFTS

There are 21 vertical shafts known in the Swago Area ranging in depth from 5 to 30 meters. Of these 19 lie at the contact of the Union limestone and the Greenville shale and extend into the Union limestone. Although the Alderson limestone has groundwater seeping through it, no cavern development is known. Characteristically, ground water will emerge from a small spring or seep at the base of the Alderson limestone, trickle along the Greenville shale, and vanish into a shaft in the Union limestone. The conditions here are very close to those shown by POHL (1955) for the shafts of the Kentucky Cave Area. The Greenville shale completely blocks all groundwater circulation in the upper part and effectively isolates the Alderson member from the rest of the Greenbrier limestone.

Figure 1.

Edray Section of the Greenbrier Limestone.



Alderson Ls. 42

Greenville Sh. 20

Union Ls. 118

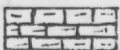
Pickaway Ls. 57

Taggard Fm. 22

Patton Ls. 80

Sinks Grove Ls. 13

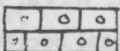
Hillsdale Ls. 46



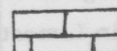
Shaley Limestone



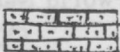
Cherty Limestone



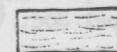
Oolitic Limestone



Massive pure limestone



Sandy limestone



Shale

## LOST WATERFALLS

On the sides of surface valleys one finds short segments of streams which rise from springs, flow a short distance over the surface, and plunge over waterfalls into the ground again. There is no stream bed either above the spring or down-slope from the waterfall. The three main examples occur associated with the Taggard formation. The springs rise at the Taggard-Pickaway contact, flow across the Taggard outcrop, and fall into pits in the resistant Patton limestone. In two cases the possibility exists that the water leaks out of an adjacent cave stream perches on the less soluble Taggard, takes a surface route across the less soluble rock, and then returns again underground below it.

## LITHOLOGIC CONTROL OF CAVES

Almost 80 % of the Carpenter's Pit System is developed in the Pickaway limestone near the Taggard-Pickaway contact. In the downstream sections the water has cut its way through the argillaceous layers in narrow canyons and is now circulating some 15 meters lower. The old dry levels continue along the contact above the canyons and are ended only by terminal breakdown where the passages abutt against the sides of the hills. The west branch of Carpenter's stream flows with a very gentle gradient until it reaches the canyons. The gradient then becomes very steep with rapids ending in a 3 meter waterfall. Below the Taggard formation the stream resumes a gentle gradient.

The east branch crosses several shale members in a series of waterfalls (figure 2). In this case the streams flow on top of the shale and then suddenly plunge through it in a waterfall. Here also the streams seem to be held to an abnormally high gradient by the resistance of the shales to solution.

In Overholt Blowing Cave (figure 3) the first group of waterfalls are closely related to the Patton shale, the Taggard formation, and the unnamed shale in the Pickaway limestone. The Patton shale appears as a series of ledges in the walls of the Cathedral Room. The Taggard series seems responsible for the second waterfall and the unnamed shale for the third waterfall. The kilometer of cave beyond this point is thus on the same stratigraphic horizon as much of the Carpenter's System. The two waterfalls at the back end of the cave would seem to be related to the unnamed shale in the Union limestone.

## CONCLUSION

Remembering that the shales mentioned in this paper are still highly calcareous, weak structurally, and only a few meters thick, two conclusions seem reasonable - at least for this particular area.

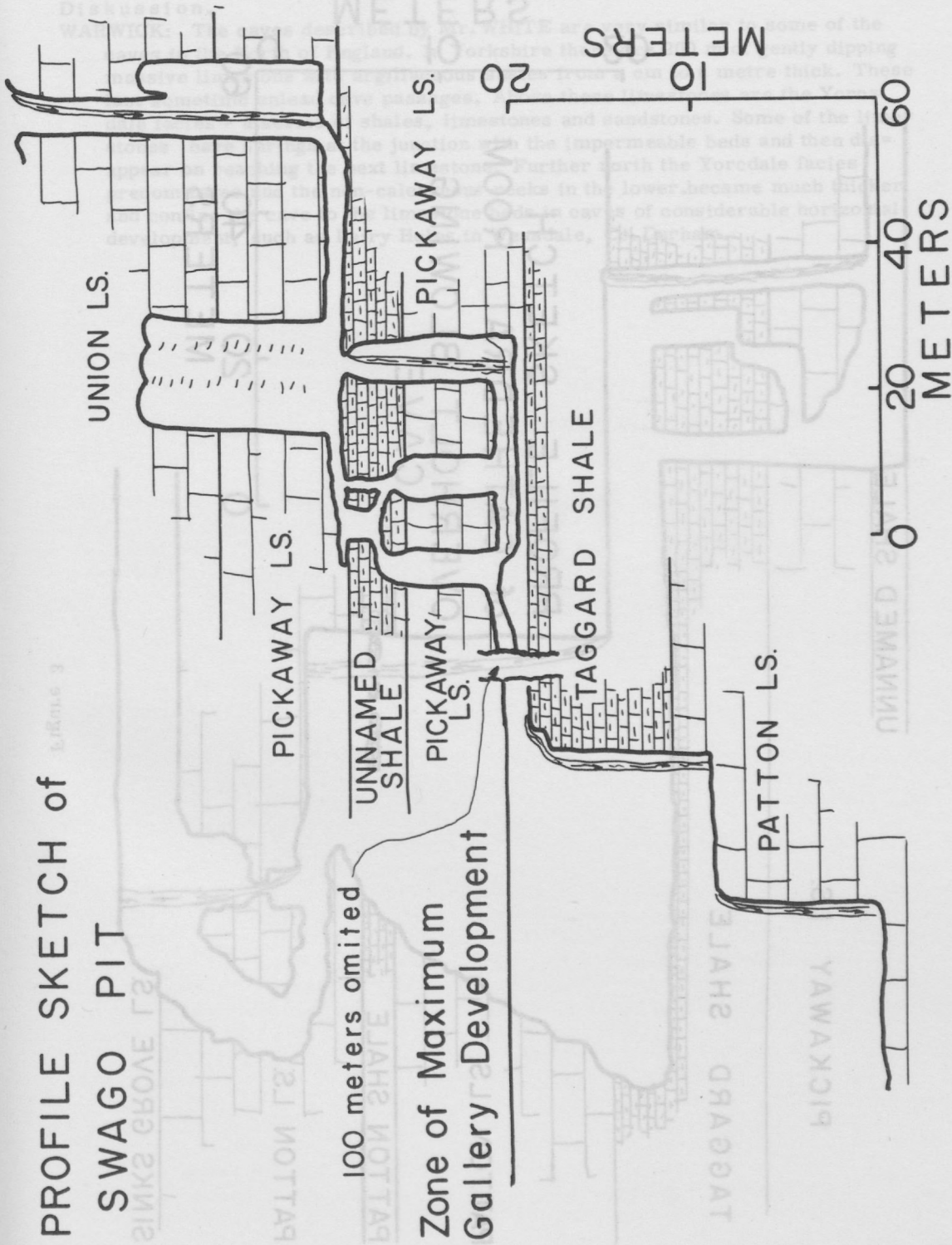
- (1) The Taggard formation has played a leading role in the speleogenesis by forming an impermeable base for the ground water circulation during the main period of cavern development.
- (2) All of the argillaceous layers act as barriers to the vertical circulation of groundwater and are capable of perching the ground water flow high above the present base level of the cave system.

## REFERENCES

- MC CUE John B., LUCKE John B., and WOODWARD Herbert P., Limestones of West Virginia, West Virginia Geological Survey, Volume 12, Morgantown, W.Va. 1939.
- POHL E. Robert, Vertical shafts in Limestone Caves, National Speleological Society Occasional Papers No. 2, 1955.
- WHITE William B., Preliminary Report on the Swago Creek Area, Netherworld News, Pittsburgh Chapter, Nat. Spel. Soc., Volume 8, No. 12, 1960.

# PROFILE SKETCH of

## SWAGO PIT



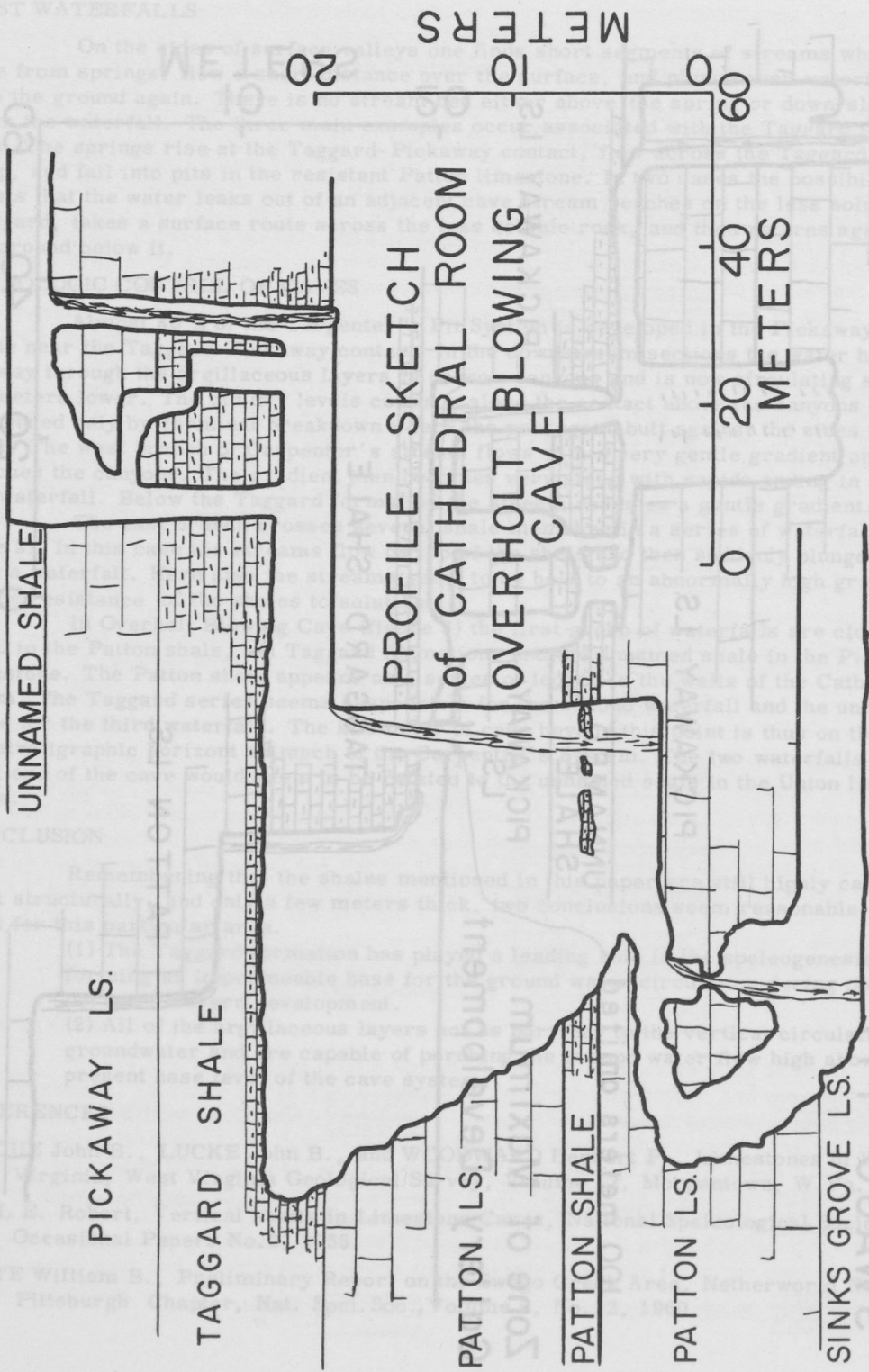


Figure 3



# Diskussion.

WARWICK: The caves described by Mr. WHITE are very similar to some of the caves in the North of England. In Yorkshire there are 200 m of gently dipping massive limestone with argillaceous shales from a cm to a metre thick. These last sometime unlead cave passages. Above these limestones are the Yorc= dale facies - a series of shales, limestones and sandstones. Some of the lime= stones have springs at the junction with the impermeable beds and then dis= appear on reaching the next limestone. Further north the Yorc= dale facies predominates and the non-calcareous rocks in the lower. became much thicker and confine the cave to the limestone beds in caves of considerable horizontal development, such as Fairy Holes in Weasdale, Co. Durham.



Walter MAUCCI

IN MEMORIAM ANTONIO FEDERICO LINDNER

KURZMITTEILUNGEN

INFORMATIONS

Non avevo l'intenzione di raccontare soltanto di questo, che vorrei dire fortunato, che ha fatto conoscere questa seduta del 3° Congresso Internazionale di Speläologia al 12 Settembre che è il 120°°° anniversario della morte di Antonio Federico LINDNER che io, credo si possa dire, il primo speläologo moderno nel vero senso della parola. - A. F. LINDNER del quale fino a poco tempo fa si conosceva soltanto esclusivamente il nome. Abbiamo dovuto fare delle ricerche di archivi lunghe e dispendiose per arrivare a ricostruire qualche cosa della vita di questo studioso esploratore cui un destino veramente orrendo ostacolò e impedì la sua impresa, morì un poco dopo e essere quasi completamente dimenticato per Antonio.

A. F. LINDNER, ingegnere meridionale presso il comune di Trieste al principio del secolo scorso fu assieme a Svetini e a pochi altri uno dei primi e dispendiosi del problema del rifornimento idrico di una città nella meta di attingere l'acqua sotterranea di un terreno carsico e quindi a impiegare la speläologia per questo scopo e naturalmente praticò. Queste sue ricerche ebbero luogo in parecchie grotte del carso Triestino tra cui: fondamentalmente nella grotta di Trebeliano che certamente è nota a tutti gli speläologi. La grotta di Trebeliano con 15 pozzi verticali, uno dietro l'altro, porta alla grandissima caverna che oggi noi in italiano diamo il nome "Punta di Lindner", ha 325 m di profondità sul cui fondo scorre il Timavo sotterraneo, lo stesso fiume Timavo che scompare sotto terra nelle grotte di San Cassiano e che riappare in superficie dopo decine di chilometri di corso nelle vicinanze di San Giovanni di Duino. Nella grotta di Trebeliano il fiume è stato rintracciato e identificato che si tratta proprio del Timavo sotterraneo o per lo meno di un ramo di esso. Se noi teniamo presente che questa profondità di 325 m in 15 pozzi verticali è stato raggiunto da A. F. LINDNER attraverso 2 anni di lavoro continuo mediante mezzi e tecniche ben primitive e confronta quelle che adopriamo noi esploratori moderni dobbiamo riconoscere che il suo lavoro è stato veramente qualche cosa di gigantesco. Egli lavorò interamente da stesso in questo lavoro, ricordare che in base ai documenti che noi abbiamo potuto rintracciare, LINDNER raggiunse il fondo della grotta di Trebeliano il 4 aprile 1841 - morì il 19 settembre 1941, abbiamo potuto anche rintracciare delle preziose rivelate dalla vedova di LINDNER, madre di 3 figli, al comune di Trieste per cercare di ottenere il rimborso di fondi da LINDNER e ormai per effettuare questa esplorazione, lo credo, che il fatto di avere la possibilità di ricordare questo pioniere della



Dritter Internationaler Kongreß für Speläologie  
Troisième Congrès International de Spéléologie - Third International Congress of  
Speleology  
SEKTION I

---

Walter MAUCCI

IN MEMORIAM ANTONIO FEDERICO LINDNER

Non avevo l'intenzione di presentare una comunicazione: è soltanto il caso, che vorrei dire fortunato, che ha fatto coincidere questa seduta del 3° Congresso Internazionale di Speleologia al 19 Settembre che è il 120<sup>mo</sup> anniversario della morte di Antonio Federica LINDNER che fu, credo si possa dire, il primo speleologo moderno nel vero senso della parola. - A.F. LINDNER del quale fino a poco tempo fa si conosceva soltanto esclusivamente il nome. Abbiamo dovuto fare delle ricerche di archivi lunghe e complete per arrivare a ricostruire qualche cosa della vita di questo studioso esploratore cui un destino veramente avverso obbligò a compiere la sua impresa, morire un poco dopo e essere quasi completamente dimenticato per decenni.

A.F. LINDNER, ingegnere montanista presso il comune di Trieste al principio del secolo scorso fu assieme a Svetina e a pochi altri uno dei primi a occuparsi del problema del rifornimento idrico di una città colla meta di attingere l'acqua sotterranea di un terreno carsica e quindi a impiegare la speleologia per questo scopo eminentemente pratico. Queste sue ricerche ebbero luogo in parecchie grotte del carso Triestino tra cui fundamentalmente nella grotta di Trebiciano che certamente è nota a tutti gli speleologi. La grotta di Trebiciano con 15 pozzi verticali, uno dietro l'altro, porta alla grandissima caverna che oggi noi in italiano diamo il nome "Punta di Lindner", ha 329 m di profondità sul cui fondo scorre il Timavo sotterraneo, lo stesso fiume Timavo che scompare sotto terra nelle grotte di San Canziano e che riappare in superficie dopo decine di chilometri di corso nelle vicinanze di San Giovanni di Duino. Nella grotta di Trebiciano il fiume è stato rintracciato evidenziato che si tratta proprio del Timavo sotterraneo o per lo meno di un ramo di esso. Se noi teniamo presente che questa profondità di 329 m in pozzi verticali è stata raggiunta da A.F. LINDNER attraverso 2 anni di lavoro continuo mediante mezzi e tecniche ben primitive in confrontoa quelle che adoperiamo noi esploratori moderni dobbiamo riconoscere che il suo lavoro è stato veramente qualche cosa di gigantesco. Egli sacrificò letteralmente se stesso in quanto basterà ricordare che in base ai documenti che noi abbiamo potuto rintracciare. LINDNER raggiunse il fondo della grotta di Trebiciano il 4 aprile 1841 - morì il 19 settembre 1841. abbiamo potuto anche rintracciare delle petizioni rivolte dalla vedova di LINDNER, madre di 3 figli, al comune di Trieste per cercare di ottenere il rimborso di fondi da LINDNER avanzati per effettuare questa esplorazione. Io credo, che il fatto di avere la possibilità di ricordare questo pioniere della



speleologia in questa occasione del Congresso Internazionale di Speleologia, possa renderci contenti in un certo senso perchè ci mette nella condizione di rendere o - maggio all'uomo che è stato troppo a lungo tempo dimenticato, l'uomo che indicò la strada che aprì la strada a noi tutti esploratori moderni.

+

Ich hatte nicht die Absicht, einen Vortrag zu halten; es ergibt sich nur der, wie ich sagen möchte, glückliche Zufall, daß diese Sitzung des 3. Internationalen Kongresses auf den 19. September fällt, den 120. Todestag von A.F.LINDNER, der, wie ich glaube sagen zu können, der erste moderne Speläologe im wahrsten Sinn des Wortes war. A.F.LINDNER, von dem wir bis vor kurzem ausschließlich nur den Namen kannten. Wir haben lange und umfassende Erhebungen in den Archiven machen müssen, um etwas vom Leben dieses eifrigen Forschers rekonstruieren zu können, den ein ausgesprochen ungünstiges Geschick zwang, sein Unternehmen zu vollenden, kurz danach zu sterben und für Jahrzehnte in vollkommene Vergessenheit zu geraten.

A.F.LINDNER, der anfangs des vergangenen Jahrhunderts als Montaningenieur bei der Gemeinde Triest tätig war, war zusammen mit SVETINA und wenigen anderen der erste, der sich mit der Wasserversorgung einer Stadt befaßte, mit dem Ziel, die unterirdischen Wasserläufe eines Karstgebietes nutzbar zu machen und somit die Höhlenforschung für einen durchaus praktischen Zweck einzusetzen. Seine Forschungen fanden in verschiedenen Höhlen des triestiner Karstes statt, darunter gründliche Erforschungen in der Grotte von Trebiciano, die sicherlich allen Höhlenforschern bekannt ist. Die Grotte von Trebiciano mit 15 Schächten, einer nach dem anderen, führt in die große Halle, die wir heute im Italienischen "Punta di Lindner" nennen, und hat eine Tiefe von 329 m, auf deren Sohle der unterirdische Timavo fließt, derselbe Fluß, der in den Höhlen von St.Kanzian unter die Erde verschwindet und nach mehr als 10 km in der Nähe von San Giovanni di Duino wieder an die Oberfläche kommt. In der Grotte von Trebiciano wurde der Lauf des Flusses erforscht und es wurde festgestellt, daß es sich um den unterirdischen Lauf des Timavo, oder zumindestens um einen Nebenfluß desselben handelt. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß die Tiefe von 329 m in vertikalen Schächten von A.F.LINDNER in 2-jähriger ununterbrochener Arbeit und mit technischen Mitteln erreicht wurde, die im Vergleich zu denen, die wir moderne Höhlenforscher anwenden, recht primitiv waren, müssen wir anerkennen, daß seine Arbeit wirklich eine gigantische Leistung war. Er opferte buchstäblich sich selbst, denn, wie wir an Hand der Dokumente feststellen konnten, erreichte er die Sohle der Grotte von Trebiciano am 4.4.1841 und starb am 19.9.1841. Wir haben weiters unter den Aufzeichnungen Gesuche gefunden, die die Witwe von A.F.LINDNER, Mutter von 3 Kindern, an die Gemeinde Triest richtete, um die Rückerstattung der von A.F.LINDNER zur Durchführung dieser Forschungen aufgewendeten Geldmittel zu erwirken. Ich glaube, daß wir uns freuen müssen, daß uns bei dieser Veranstaltung des Internationalen Kongresses die Möglichkeit gegeben ist, dieses Bahnbrechers der Höhlenforschung zu gedenken und dem Mann Ehre zu erweisen, der viel zu lange in Vergessenheit war, dem Manne, der den Weg wies, der uns modernen Höhlenforschern die Bahn öffnete.

Sole MUNCK

## ÜBER HÖHLEN IN GRÖNLAND

Im Nordostteil Grönlands sind im vergangenen Jahr von zwei amerikanischen Geologen, Dr. William E. DAVIS und Donald GRIMSLEY, jene Höhlen entdeckt worden, über die ich die folgende kurze Mitteilung vorlegen soll. Die Höhlen, die in paläozoischen Kalksteinen liegen, wurden gelegentlich anderer Arbeiten aufgefunden.

In einem engen Tal mit Steilwänden konnten an dessen Ostseite Klippen mit insgesamt 11 Höhlen gefunden werden, an der Westseite nur eine Höhle. Einige der Höhlen in den Steilwänden waren sehr schwer zugänglich; einige sind begangen worden und es sind auch einige Fotos vorhanden.

Die Höhlengruppe liegt 500 bis 650 m über dem Meeresspiegel; die Höhlengänge sind 5 bis 12 Meter hoch und reichen bis zu 60 Meter weit ins Berginnere. Das weitere Vordringen wird durch Verstürze unmöglich gemacht.

In der an der westlichen Seite des Tales liegenden Höhle hat man Höhlensedimente gefunden; sie bestehen aus sandigen Lehmen orangegelber Färbung mit 2 Meter Mächtigkeit. Darunter liegen 15 cm roter Lehm. Über den Sedimenten liegt eine rund 10 cm mächtige Schichte von Kalksinter; dieser gesamte Sedimentkomplex ist schließlich noch von 10 bis 15 cm Eis bedeckt. Die Abnahme eines Sedimentprofils war mit beträchtlichen Schwierigkeiten verbunden.

An der Oberseite der Sinterschichte wurden kleine Stalagmiten gefunden, deren Höhe allerdings nur einige Zentimeter beträgt. In der Nähe des Einganges wurden Hohlformen an den Höhlenwänden festgestellt.

Die Höhlen sind zwar nicht groß, bei weitem nicht so groß wie in den mitteleuropäischen Karstländern, verdienen aber vielleicht deshalb einiges Interesse, weil sie so weit nördlich liegen. Allein die Existenz von Höhlen in den Nordpolarregionen ist beachtenswert. Wie alt sie sind, ist allerdings nicht klar; doch ermöglicht das Vorhandensein von Ablagerungen von Gletschermoränen in den unteren Höhlen immerhin eine Datierung. Derzeit ist über die Schwankungen des Inlandeises in Nordgrönland allerdings noch zu wenig bekannt und daher kann noch nicht gesagt werden, wann der letzte Eisvorstoß in das Höhlengebiet erfolgt war.

Es ist bereits bekannt, daß in Kronprinz Christians-Land nordwestlich des untersuchten Höhlengebietes, das den Namen "Grottental" erhielt, noch weitere Höhlen liegen. Sie sind aber noch nicht besucht worden.

Eine sehr große Höhle ist überdies im nördlichsten Teil Grönlands, in Wulf-land, aufgefunden worden. Bisher ist aber nur ihr Eingang vom Flugzeug aus beobachtet

tet und fotografiert worden. Er befindet sich auf 82° nördlicher Breite und 48° westlicher Länge. Man vermutet, daß diese Höhle wertvolle Aufschlüsse zur jüngeren Entwicklungsgeschichte Nordgrönlands geben könnte. Sie ist aber absolut schwer zugänglich.

### Diskussion.

CORBET: Il y a le problème de l'âge de ces grottes. Elles se sont formées après la phase principale de glaciation et du grand transport glaciaire, mais avant la dernière petite récurance. On peut par analogie avec les datations au  $C^{14}$  faits au NE du Spitsberg dater leur formation à  $10000 \pm 1500$  ans. Il faut souligner l'extrême sécheresse du climat actuel - il a fallu une période plus neigeuse. Les remplissages colorés semblent dater du maximum thermique (-5000).

Ferner besitzt die Aufsichtsbehörde überall das Recht, Revisionen der erwähnten Anstalten vorzunehmen oder vornehmen zu lassen, um sich über die Innehaltung der bestehenden gesetzlichen Vorschriften Gewissheit zu verschaffen<sup>1</sup>.

Endlich steht derselben, bei Nichtbeachtung der letzteren, auch das Recht zu, die betreffenden Anstalten zu schliessen<sup>2</sup>.

In Württemberg ist dagegen der frühere staatliche Charakter der beiden bestehenden niederen Konvikte<sup>3</sup> beibehalten worden. Die Leitung und Aufsicht über dieselben, insbesondere auch die Aufnahme und die Entlassung der Zöglinge<sup>4</sup> kommt der Staatsbehörde (dem katholischen Kirchenrath)<sup>5</sup> zu<sup>6</sup>. Nur ist dem Bischof das Recht zur Leitung der religiösen Erziehung und zur Festsetzung der dadurch bedingten Hausordnung<sup>7</sup>, sowie das Recht zur Ernennung der Vorsteher und Repetenten gesetzlich zugestanden worden<sup>8</sup>. Aber in den beiden ersteren Beziehungen ist der Staatsbehörde das Recht der Oberaufsicht<sup>9</sup> gewährt. Es dürfen ferner vom

folgt daraus, dass dasselbe schlechthin die Mittheilung des Namens jedes Leiters und aller Erzieher anordnet, und andernfalls bei einem Wechsel des Personals der Vorschrift nicht genügt sein würde.

<sup>1</sup> Wegen Baiern s. o. S. 559. n. 4, wegen Elsass-Lothringen vgl. o. S. 559. n. 10. u. Ausf.-V. v. 10. Juli 1873. §. 16. Für Preussen ergibt sich dies daraus, dass die Konvikte der staatlichen Aufsicht unterworfen geblieben sind, also in Folge dessen die allgemeinen Vorschriften, welche für alle Erziehungsanstalten gelten, in Bezug auf sie Anwendung finden. Für diese schreibt aber das A. L. R. II. 12. §. 9 vor: „Alle öffentlichen Schulen und Erziehungsanstalten stehen unter der Aufsicht des Staates und müssen sich den Prüfungen und Visitationen desselben zu allen Zeiten unterwerfen“; für die übrigen Rechtsgebiete ist die Befugnis die Konsequenz des Aufsichtsrechtes, da derjenige, welcher ein solches besitzt, jedenfalls auch befugt sein muss, von dem Zustande der zu beaufsichtigenden Objekte Kenntniss zu nehmen. A. M. Heiner a. a. O., welcher ohne Grund darauf hinweist, dass §. 9 A. L. R. II. 12 durch die Verfassungsurkunde stets als aufgehoben betrachtet (!?) worden sei, und verkennt, dass das Gesetz unter den besonderen Vorschriften wegen der Staatsaufsicht solche verstanden hat, welche abweichend von den für alle Erziehungs- und Unterrichtsanstalten geltenden allein für die geistlichen Bildungsanstalten erlassen worden waren, s. P. Hinschius, preuss. Kirchengesetz v. 1886. S. 22. 24. — Die Aufsichtsbehörde, welche diese Massnahmen zu treffen hat, ist jetzt der Minister der geistlichen Angelegenheiten, P. Hinschius a. a. O. S. 25.

<sup>2</sup> Cit. Bair. V. v. 1873. §. 13: „Im Falle der Nichtbeachtung der von der zuständigen Behörde gegebenen Weisungen oder falls es im Interesse der Sittlichkeits- oder der Gesundheitspolizei erforderlich wird, kann diese Behörde die polizeiliche Bewilligung für verwirkt erklären“; für Elsass-Lothringen vgl. cit. Ges. v. 1873. §. 1, o. S. 558. n. 3 und Ausf.-V. v. 10. Juli 1873. §. 11 ff. (wegen der hier vorgekommenen Schliessung einzelner Knabenseminare s. Geigel a. a. O. S. 279. n. 7); für Preussen folgt das Recht

aus der Staatsaufsicht, da diese nothwendigerweise die Befugnis in sich begreift, das Fortbestehen gesetzwidriger Institute zu hindern, P. Hinschius, a. a. O. S. 28.

<sup>3</sup> S. o. S. 528.

<sup>4</sup> Wobei es allerdings der Staatsbehörde freisteht, den Bischof darüber zu hören, ob dem Aufzunehmenden nicht etwa die kanonischen Eigenschaften für die Erlangung eines Kirchenamtes fehlen, und einem näher begründeten Antrage desselben auf Entlassung eines unwürdigen Zöglings zu entsprechen.

<sup>5</sup> Golther a. a. O. S. 357. Die Entfernung der Zöglinge allerdings dem Kultusministerium.

<sup>6</sup> Ges. v. 30. Januar 1862. Art. 11, s. o. S. 558. n. 4. Ebenso liegt die Regelung und Verwaltung der ökonomischen Verhältnisse ausschliesslich in der Hand der Staatsbehörde.

<sup>7</sup> Die halbjährlichen Hauptberichte sind an das Ordinariat zu erstatten, ferner ihm alle organisatorischen Vorschläge betreffs der religiösen Erziehung und der Hausordnung, sowie die Anträge auf Bestrafung der Zöglinge zu unterbreiten, Rückgaber a. a. O. S. 47.

<sup>8</sup> Cit. Ges. Art. 12: „Dem Bischof steht die Ernennung der Vorsteher der drei Konvikte (das dritte ist das Wilhelmsstift in Tübingen, s. o. S. 529 und nachher S. 568) aus der Zahl der an ihrem Sitz angestellten Professoren oder Kirchen-diener, sowie die Ernennung der Repetenten an den genannten Lehranstalten zu. Auf diese Ernennung findet das in Art. 4, Abs. 1 des gegenwärtigen Gesetzes angeführte Recht der Staatsregierung zur Ausschliessung missliebiger Kandidaten (s. Bd. III, S. 184) Anwendung. Die Geltendmachung dieser Rechte bleibt der Regierung auch in dem Falle vorbehalten, wenn ein Vorstand oder Repetent nach seiner Ernennung in bürgerlicher oder politischer Beziehung derselben unangenehm geworden ist.“

<sup>9</sup> S. den cit. Art. 11, damit sie im Stande ist, darüber zu wachen, dass die Erziehung der Zöglinge nicht in einem den Interessen des Staates feindseligen und in zelotischem Sinne, sowie in einer dem Unterricht in den von den Zöglingen besuchten Gymnasien entgegenwirkenden Weise geleitet werde, dass die Hausordnung nicht den

Bischof nur solche Personen zu Vorstehern und Repetenten ernannt werden, welche nicht von der Staatsregierung unter Anführung von Thatsachen als ihr in bürgerlicher oder politischer Hinsicht missfällig erklärt sind, und zwar müssen die ersteren aus den am Orte des Konvikts angestellten Professoren oder Kirchendienern ausgewählt sein<sup>1</sup>. Falls sich später nach der Ernennung ein solcher Ausschliessungsgrund in Betreff eines der gedachten Angestellten ereignet, ist die Regierung befugt, von dem Bischof die Entlassung desselben zu verlangen<sup>2</sup>. Dagegen ist ihr ein Recht zur Mitwirkung einer vom Bischof seinerseits verfügten Absetzung oder Abberufung eines der erwähnten Konviktsbeamten nicht mehr vorbehalten geblieben<sup>3</sup>.

Die theologischen Diöcesan-Anstalten<sup>4</sup>, philosophisch-theologische Lehranstalten, Klerikal-Seminare<sup>5</sup>. Die ebenerwähnten Anstalten, d. h. solche, welche für das Studium der Theologie und ihrer Hülfswissenschaften, namentlich der Philosophie, bestimmt sind, also dieselben Bildungsziele wie die theologischen Fakultäten an den Universitäten verfolgen, sind in Baden<sup>6</sup>, in Hessen<sup>7</sup>, und in Württemberg<sup>8</sup> gesetzlich ausgeschlossen.

Die neueste preussische Gesetzgebung<sup>9</sup> lässt dagegen derartige Anstalten

Charakter einer klösterlich abgeschlossenen Zucht an sich trage, und dass endlich nicht unzulässige Disziplinarstrafmittel zur Anwendung kommen, Golther S. 360. Nach den zur Ausführung des Konkordates mit dem Ordinariat vereinbarten Ministerialverfügungen v. 4. Mai und 12. Oktober 1859, Golther S. 358. 360; Rückgaberr a. a. O. S. 47, hatte der Bischof der Staatsbehörde von jedem bedeutsamen Vorkommnis in den Anstalten alsbald Anzeige zu machen, ferner die an ihn erstatteten Zustandsberichte der Vorstände unter summarischer Angabe der von ihm hierauf erlassenen Verfügungen alle Halbjahr zur Einsicht mitzuthellen, sowie jede beabsichtigte Aenderung in der Haus- oder Disziplinarordnung und in den Amtsinstruktionen der Vorstände und Repetenten zur vorgängigen Kenntnissnahme der Regierung zu bringen, damit sich diese schlüssig machen könne, ob sie vom staatlichen Standpunkt dagegen Einsprache zu machen habe. Daran hat das Gesetz nichts geändert und in der Praxis ist bisher in dieser Weise verfahren worden.

<sup>1</sup> S. den cit. Art. 12, o. S. 561. n. 8.

<sup>2</sup> Golther S. 365. Sollte der Bischof diesem Verlangen nicht nachkommen, so würde die Regierung die betreffende Person im Wege der Administrativ-Exekution an der weiteren Thätigkeit im Konvikt hindern können.

<sup>3</sup> Als Korrelat des Rechtes der Ernennung kommt dieses also auch dem Bischof zu. Eine Schranke gegen Uebergriffe desselben liegt für den Staat darin, dass der erstere bei der Neu-Ernennung der Vorsteher an bestimmte Personen gebunden ist, und dass die Professoren an den von den Konviktoristen besuchten Gymnasien staatlich angestellt sind, also mit der bischöflichen Entfernung aus der Stellung eines Vorstehers ihr sonstiges Amt nicht verlieren.

<sup>4</sup> Dies ist die Bezeichnung in Oesterreich. Wenn in Richter-Kahl, K. R. 8. Aufl. S. 1258. n. 1 behauptet wird, dass noch ein Generalseminar in Görz bestehe, so handelt es sich dabei nicht um ein Generalseminar im josephinischen Sinne

(o. S. 526), sondern um ein Zentralseminar, welches zugleich das Seminar für die Erzdiözese und die Uferdiöcesen der Provinz bildet, Schulte, status p. 36. Das griechisch-katholische Zentralseminar in Wien ist dagegen ein Konvikt, welches den griechisch-katholischen Kandidaten die Möglichkeit gewährt, an der theologischen Fakultät die vorgeschriebenen Kurse durchzumachen.

<sup>5</sup> Nach dem Sprachgebrauche der preussischen Gesetze, s. S. 559, Anm. 5.

<sup>6</sup> Da das cit. Gesetz (s. o. S. 557. n. 3) nur die Errichtung von Anstalten zur theol.-prakt. Vorbildung gestattet.

<sup>7</sup> Hier gilt dasselbe wie für Baden, siehe o. S. 557. n. 2.

<sup>8</sup> Eine positive Vorschrift weist das Gesetz v. 30. Januar 1862 in dieser Beziehung nicht auf. Es hat aber die früheren gesetzlichen Anordnungen, nach welchen das Studium der Theologie auf der Universität zu betreiben ist, nicht aufgehoben, s. o. S. 528. 537, vgl. auch Golther a. a. O. S. 361 und Motive zu dem cit. Gesetz. Art. 14 a. a. O. S. 529.

<sup>9</sup> Ges. v. 21. Mai 1881. Art. 2: „An die Stelle des §. 6 des Gesetzes v. 11. Mai 1873 treten folgende Bestimmungen: das theologische Studium kann auch an den zur wissenschaftlichen Vorbildung der Geistlichen geeigneten Seminaren, welche bis zum Jahre 1873 bestanden haben, zurückgelegt werden. — Zur Wiedereröffnung und Fortführung dieser Anstalten sind: 1) dem Minister der geistlichen Angelegenheiten die Statuten und der Lehrplan einzureichen und die Namen der Leiter und Lehrer, welche Deutsche sein müssen, mitzuthellen; 2) ist der Lehrplan dem Universitätslehrplan gleichartig zu gestalten; 3) es ist zur Anstellung an diesen Anstalten die wissenschaftliche Befähigung erforderlich, an einer deutschen Staatsuniversität in der Disziplin zu lehren, für welche die Anstellung erfolgt. — Diese Seminare sind nur für diejenigen bestimmt, welche dem Sprengel angehören, für den das Seminar errichtet ist. Hiervon kann jedoch der



allein insoweit zu, als sie beim Inkrafttreten des Gesetzes vom 11. Mai 1873<sup>1</sup> bereits besondere haben<sup>2</sup>, und hat ausserdem blos den Bischöfen von Osnabrück und Limburg das Recht gewährt, solche in ihren Sprengeln (aber auf eigene Kosten) zu errichten<sup>3</sup>. Die frühere Beschränkung, dass an diesen Seminaren nur solche Kandidaten, welche der Diocese angehören, für die das Seminar bestimmt ist, das theologische Studium ablegen durften, ist neuerdings ebenfalls beseitigt<sup>4</sup>, und damit den Bischöfen die Möglichkeit gegeben worden, die Kandidaten von dem Universitätsstudium fernzuhalten und lediglich auf den Seminaren ausbilden zu lassen.

Eine besondere staatliche Genehmigung für die Wiedereröffnung der früher geschlossenen oder für die Eröffnung der neuerdings zugelassenen Anstalten ist nicht erforderlich<sup>5</sup>. Die Bischöfe sind ohne weiteres dazu ermächtigt, sofern nur der Lehrplan dem der katholisch-theologischen Fakultäten der Universitäten gleichgestaltet ist<sup>6</sup>, und die Leiter der Anstalt, sowie die an denselben dauernd oder widerruflich angestellten Lehrer<sup>7</sup> die deutsche Reichsangehörigkeit, die letzteren auch die wissenschaftliche Befähigung besitzen<sup>8</sup>, an einer deutschen Staatsuniversität in der von ihnen vertretenen Disziplin zu lehren<sup>9</sup>, und zwar von dem Augenblick ab, in welchem die demnächst zu besprechenden Mittheilungen dem Kultusminister gemacht worden sind<sup>10</sup>.

Nach Lage der obwaltenden Verhältnisse ist durch die erwähnten Vorschriften in Preussen wie früher nach der Gesetzgebung des Jahres 1873, so jetzt wenigstens noch thatsächlich die Begründung von theologischen Lehranstalten für solche bischöfliche Sprengel, in denen katholisch-theologische Fakultäten bestehen, ausgeschlossen<sup>11</sup>,

Minister der geistlichen Angelegenheiten Ausnahmen gestatten. — Der Minister der geistlichen Angelegenheiten macht die zur wissenschaftlichen Vorbildung geeigneten Seminare öffentlich bekannt. — Die Wiedereröffnung der Seminare für die Erzdiocese Gnesen-Posen und die Diocese Kulm wird durch kgl. Verordnung bestimmt.“

<sup>1</sup> P. Hinschius, preuss. Kirchengesetz von 1886. S. 10.

<sup>2</sup> Nach §. 6 des durch den cit. Art. 2 beseitigten Gesetzes v. 11. Mai 1873 waren solche Klerikalseminare nur an denjenigen Orten zugelassen, in welchen sich keine theologischen Fakultäten befanden. Das entsprach dem thatsächlichen Zustande, da bei der Ausführung der Bulle: De salute animarum v. 16. Juli 1821 allein diejenigen Diöcesen, in welchen keine Universitäten oder Akademien mit katholisch-theologischen Fakultäten vorhanden waren, Klerikalseminare erhalten haben, s. o. S. 532. n. 6 u. P. Hinschius a. a. O. S. 10. In Folge der Nichtbeachtung des Gesetzes von 1873 sind die zu Paderborn, Trier, Posen, Pöplin, in den neueren Provinzen Fulda und Hildesheim geschlossen, jetzt aber auf Grund des cit. Art. 2 (Ende 1886 und Anfang 1887) Trier, Paderborn und Fulda wieder eröffnet worden.

<sup>3</sup> Gesetz v. 29. April 1887. Art. 1. §. 1.

<sup>4</sup> Durch das in der vor. Anmerk. cit. Gesetz Art. 1. §. 2.

<sup>5</sup> Alles im Text Angeführte bezieht sich nicht auf Gnesen-Posen und Kulm, da für diese Diöcesen durch Art. 2 des Ges. v. 21. Mai 1886 eine besondere Regelung durch königliche Verordnung vorbehalten ist. Durch königliche An-

ordnung ist im Juni 1887 übrigens die Wiedereröffnung des Kulmer Seminars gestattet worden.

<sup>6</sup> D. h. der Lehrplan muss in demselben Maasse, wie der Lehrplan der erwähnten Fakultäten, ein wissenschaftliches Studium der Theologie und ihrer Hilfswissenschaften ermöglichen. Darüber hat der Kultusminister zu entscheiden, P. Hinschius S. 13.

<sup>7</sup> P. Hinschius S. 12.

<sup>8</sup> Die Leiter blos dann, wenn sie zugleich als Lehrer fungiren.

<sup>9</sup> D. h. es muss sich der betreffende Lehrer an einer deutschen Staatsuniversität für diejenigen Fächer, in denen er an der Anstalt lehren soll, als Privatdozent habilitirt haben oder, da auch Gelehrte, welche sich in anderer Weise, z. B. durch literarische Thätigkeit hervorgethan haben, durch die Unterrichtsverwaltung in akademische Lehrämter befördert werden können, die Erklärung des Kultusministers darüber eingeholt werden, ob er die in Aussicht genommene Persönlichkeit für geeignet erachtet, als Privatdozent an einer Staatsuniversität thätig zu sein, P. Hinschius a. a. O. S. 12 und preussische Kirchengesetze v. 1873. S. 121. n. 4.

<sup>10</sup> Sind die gedachten Bedingungen erfüllt, so ist der Minister verpflichtet, die im Art. 2 gedachte Anerkennung, dass die betreffende Anstalt zu wissenschaftlicher Vorbildung geeignet sei, d. h. geeignet, das theologische Studium an einer Staatsuniversität zu ersetzen, seinerseits zu erlassen. Das ist auch hinsichtlich der Ann. 2 u. 5 gedachten Seminare geschehen.

<sup>11</sup> Vgl oben Ann. 2.

also die Zulassung der ersteren in Preussen nicht vollkommen frei<sup>1</sup>, sondern blos innerhalb eines fest bestimmten Umfanges gesetzlich statthaft<sup>2</sup>.

In Baiern, in Frankreich und Elsass-Lothringen bedarf es zur Errichtung der hier fraglichen Anstalten der Genehmigung der Staatsbehörde<sup>3</sup>, wogegen in Oesterreich<sup>4</sup> eine solche nicht erfordert wird.

Die Anstellung der Vorsteher und der Direktoren, sowie ihre Entfernung steht abgesehen von Baiern<sup>5</sup> den Bischöfen zu<sup>6</sup>, jedoch ist in Oesterreich nach einem i. d. J. 1849 u. 1850 zwischen der Regierung und dem Episkopat getroffenen, auch nach dem Konkordate festgehaltenen Uebereinkommen<sup>7</sup> bestimmt, „dass eine theologische Professur für die Regel“ allein an solche, welche ihre Befähigung durch eine schriftliche Prüfung und einen mündlichen Probevortrag dargethan haben<sup>8</sup>, verliehen<sup>9</sup>, und zu diesem Behufe von dem Ordinariate, an dessen Lehranstalt eine Stelle erledigt ist,

<sup>1</sup> Dass die Bischöfe etwa beliebig solche Anstalten unter Verzicht darauf, dass diese als staatlich geeignet (s. vor. Anm.) anerkannt werden, gründen, würde gegen den Artikel 2 des cit. Gesetzes und Art. 1 des Ges. v. 29. April 1887 verstossen.

<sup>2</sup> Praktische Bedeutung hat diese Beschränkung freilich nicht mehr, s. S. 563. n. 4.

<sup>3</sup> Die Lyceen, die philosophisch-theologischen Lehranstalten, sind in Baiern staatliche Anstalten, welche der Staat selbstverständlich allein errichten kann. Es kommt daher hier nur in Frage, ob die Bischöfe, wenn sie keine staatlichen Mittel beanspruchen wollen, berechtigt sind, ihrerseits frei und ungehindert derartige Bildungsanstalten zu begründen. Die Regierung hat dies stets auf Grund des Religionsediktes v. 1818 (s. o. S. 558. n. 1) verneint. Während in dem Eichstädter Fall (s. o. S. 532. n. 2) eine Vereinigung getroffen worden ist, hat die Regierung 1864 die vom Bischof von Speier ohne ihre Zustimmung eröffnete theologische Lehranstalt polizeilich schliessen lassen, Arch. f. k. K. R. 13, 107; Silbernagl, Verfassung sämtl. Religionsgenossenschaften. 1. Aufl. S. 810. n. 9; Schreiben Pius IX. an die bair. Bischöfe v. 23. Mai 1865, cit. Arch. 14, 308. — Jetzt kommen die §§. 1. 2 der schon angef. V. v. 1873 (o. S. 558. n. 1) in Betracht, nach welchem §. 2, I. die Bewilligung des Staatsministeriums des Innern für Kirchen- und Schulsachen „für alle Anstalten, welche ganz oder theilweise Ersatz bieten wollen für die Universitäten, die polytechnische Hochschule, Lyceen“ vorbehalten ist. — Ueber Frankreich u. Elsass-Lothringen siehe o. S. 534. Staatliche theologische Fakultäten bestehen zwar neben den Seminarien in Frankreich, sie kommen aber praktisch nicht in Betracht, da sie nicht als kanonisch errichtet gelten und von den Geistlichen nicht besucht werden, André I. c. 3, 954.

<sup>4</sup> Vgl. Art. 17 des Konkordates v. 1855 (oben S. 556. n. 7). Das Gesetz v. 7. Mai 1874. §. 30 (s. Bd. II. S. 509) hat nichts geändert.

Die theologischen Diöcesan-Anstalten sind hier mit den Klerikal-Seminaren (genauer Konvikten) in der Art verbunden, dass die Zöglinge der letzteren an den ersteren ihre theologischen Studien machen, wensschon dort auch, freilich

vereinzelte, solche, die nicht in die Seminarien aufgenommen sind, studiren, Schulte, status p. 6.

<sup>5</sup> Denn wegen des staatlichen Charakters der Lyceen sind die gedachten Beamten staatliche, über deren Anstellung und Entfernung der Staat zu befinden hat. Die in der Min.-E. v. 8. April 1852, Nr. 18 in Aussicht gestellte Rücksichtnahme auf die Wünsche der Bischöfe bei der Besetzung der Lehrstellen an den Lyceen ist in dem Min.-Erlass v. 20. November 1873 (Zeitschr. f. K. R. 12, 269) nicht aufrechterhalten; vgl. dazu auch Arch. f. k. K. R. 29, 450.

Bei der Zulassung rein bischöflicher Lehranstalten (s. o. Anm. 3) würde nach §. 14 d. Vdg. („Werden einer durch Korporationen, Vereine oder Private errichteten Erziehungs- oder Unterrichtsanstalt besondere Rechte oder Zuschüsse aus Staats- oder Kreisfonds bewilligt, so können hierfür auch besondere Verpflichtungen auferlegt werden“) die Ernennung an die staatliche Bestätigung geknüpft werden können, wie dies bereits früher in dem erwähnten Eichstädter Fall (siehe Anmerk. 3) geschehen ist.

<sup>6</sup> Wegen Frankreich und Elsass-Lothringen s. o. S. 534; für Oesterreich folgt dies aus Art. 17 d. Konk.

<sup>7</sup> Schreiben des Episkopates v. 15. Juni 1849, coll. conc. Lac. 5, 1362; Vortrag des Kultusmin. v. 13. April 1850, Beiträge z. preuss. u. deutsch. K. R. Heft 2. S. 60; V. v. 30. Juni 1850, a. a. O. S. 73, ferner Zurschrift d. Episkopates v. 16. Juni 1856, coll. conc. cit. 5, 1261 u. V. d. Kult.-Min. v. 29. März 1858, Arch. f. k. K. R. 2, 768, welche die in der obengedachten Zurschrift aufgestellten Vorschläge als dem Konkordat entsprechend anerkennt. Die Vdg. v. 1850 u. 1858 auch bei F. Frh. v. Schweickhardt, Samml. der für die österr. Universitäten gültigen Gesetze u. Verordnungen. 2. Aufl. Wien 1885. 1, 261. 272.

<sup>8</sup> Die Prüfung wird unter Leitung des Bischofs durch die von ihm bestimmten theologischen Professoren und einen Ordinariatskommissar vorgenommen. Männern, welche ihre Fähigkeit durch Leistungen als Lehrer oder Schriftsteller hinreichend bewährt haben, kann indessen die Prüfung erlassen werden.

<sup>9</sup> Die Anzeige geht an den Statthalter, welcher nöthigenfalls weiter zu berichten hat.

eine Konkursprüfung ausgeschrieben werden soll. Auch ist der Staatsregierung nicht nur von der Anstellung der eben gedachten Professoren, sondern auch aller anderen Lehrer Anzeige zu machen und anzufragen, ob denselben kein politisches Bedenken entgegensteht<sup>1</sup>.

In Preussen ist dagegen allein eine Mittheilung über die Personen der Leiter und Lehrer an den Kultusminister erforderlich<sup>2</sup>.

Ueber die Qualifikation der Leiter und Lehrer entscheiden in Oesterreich<sup>3</sup>, in Frankreich und Elsass-Lothringen allein die Bischöfe<sup>4</sup>, in Preussen zwar ebenfalls, aber hier müssen die anzustellenden Personen die bereits o. S. 563 erwähnten, staatlich vorgeschriebenen Eigenschaften besitzen.

In Frankreich und Elsass-Lothringen bedürfen ferner die Reglements<sup>5</sup>, d. h. alle die Anstalten betreffenden allgemeinen, Studien-, Haus- und sonstigen Ordnungen<sup>6</sup> der Genehmigung des Staatsoberhauptes<sup>7</sup> und können auch nur mit dieser abgeändert werden. In Preussen sind allein die Statuten der Lehranstalt und der dem Universitätslehrplan gleichartig zu gestaltende Lehrplan dem Kultusminister einzureichen, und von der Erfüllung dieser Vorschrift hängt die staatliche Berechtigung der Anstalt zur Fortexistenz ab<sup>8</sup>. Dagegen ist für Oesterreich bloß instruktionell vorgeschrieben, dass die Bischöfe zu Anfang jedes Studienjahres eine Personalsstandstabelle des Lehrkörpers, ein Verzeichniss der Lehrgegenstände mit Angabe der Stundenzahl, sowie ein nach Lehrgängen geordnetes Verzeichniss der Schüler mit Angabe ihres Alters, und bei denen des ersten Studienjahres auch mit dem Nachweis ihrer Vorstudien, dem Kultusministerium durch die Statthalterschaft einzusenden haben<sup>9</sup>.

In Betreff der Aufnahme von Zöglingen haben die kirchlichen Oberen freie Hand, da auch in Preussen die frühere Beschränkung (s. o. S. 563) fortgefallen ist. Nur in Oesterreich können nach dem schon gedachten Uebereinkommen allein solche zu den theologischen Studien angenommen werden, welche das Unter- und Obergymnasium mit hinreichendem Erfolg zurückgelegt haben<sup>10</sup>.

<sup>1</sup> Schreiben Pius' IX., Optime noscitis vom 5. November 1855, Arch. f. k. K. R. 1, XXVII: „In seligendis autem professoribus seu magistris singularem diligentiam et vigilantiam adhibete et gravissimum docendi munus nolite unquam committere, nisi viris, qui religione, pietate, vitae integritate, morum gravitate ac sanae doctrinae laude omnino praestent. ... Insuper .... antequam eligatis seminarii professores et magistros opus est, ut diligentissime inquiratis et certis, num ipsa Caesarea et Apostolica Maiestas aliquid contra illos habeat circa res politicas.“ Ein Ausschlussrecht, dessen Verletzung die Nichtigkeit der Anstellung für den Staat herbeiführt, ist damit offenbar nicht gewährt.

<sup>2</sup> Und zwar bei jedem Wechsel, weil der cit. Art. 2, o. S. 562. n. 9 gleichfalls von der Fortführung der Anstalten handelt.

<sup>3</sup> Vgl. o. S. 564.

<sup>4</sup> S. o. S. 534. n. 7.

<sup>5</sup> S. o. S. 534. n. 4, Dekret v. 17. März 1808. Art. 3, Dursy 1, 123.

<sup>6</sup> Gaudry l. c. 2, 132 und Geigel S. 272 verlangen dies nur für die grundlegende Normativ-Verordnung, aber ohne Anhalt, da die „regle-

ments de cette organisation“ alle die Einrichtung der Seminarien betreffenden Ordnungen umfassen.

<sup>7</sup> Auch in Elsass-Lothringen ist diese Befugnis nicht auf den Statthalter übertragen.

<sup>8</sup> Cit. Art. 2 des Ges. v. 1886, vgl. P. Hirschius a. a. O. S. 27.

<sup>9</sup> Vgl. Kult.-Min.-Vdg. v. 29. März 1858, Arch. f. k. K. R. 2, 759, in welcher ausdrücklich hervorgehoben ist, dass dadurch „die selbstständige kirchliche Leitung der betreffenden Lehranstalten nicht beirrt werde“, sowie dass seitens des Kaisers allerdings die Erwartung ausgesprochen sei, dass die Bischöfe die gedachten Bestimmungen nicht ohne Vorwissen der Regierung abändern würden.

<sup>10</sup> Vgl. die cit. V. v. 29. März 1858, Arch. f. k. K. R. 2, 757 (Nichterfüllung der Wehrpflicht hindert die Aufnahme nicht, a. a. O. 23, 410).

Wegen Frankreich und Elsass-Lothringen s. o. S. 534. n. 7. Wenn das Ministerium die ganzen und halben Freiplätze in den grossen Seminaren zu Strassburg und Metz für die Regel nur Zöglingen gewährt, welche in Deutschland ausgebildet sind, Geigel, S. 277, so fällt dies nicht unter den oben gedachten Gesichtspunkt.

Für Preussen folgt ferner aus der allgemeinen Staatsaufsicht das Recht des Kultusministers, Revisionen der erwähnten Anstalten zu veranlassen<sup>1</sup>.

Was die Durchführung der staatlichen Bestimmungen betrifft, so ist der Kultusminister in Preussen bei der Nichtbeobachtung der o. S. 562 ff. besprochenen Vorschriften nicht nur berechtigt, sondern auch sogar verpflichtet, die Anstalten bis zur Erfüllung derselben zu schliessen<sup>2</sup>, die für sie bewilligten Staatsmittel einzubehalten<sup>3</sup>, und die weiter eintretende Folge, dass das Seminar nicht mehr zur wissenschaftlichen Vorbildung geeignet ist, durch öffentliche Bekanntmachung auszusprechen<sup>4</sup>. In Frankreich und Elsass-Lothringen erscheint eine Schliessung bei unterlassener Einholung der vorgeschriebenen Genehmigung für die Errichtung der Seminare und die Aufstellung und Abänderung des Reglements<sup>5</sup> ebenfalls zulässig<sup>6</sup>. Dagegen besteht in Oesterreich kein Recht für die Staatsregierung, die ihr durch das Uebereinkommen gewährten Befugnisse mit Zwang zur Durchführung zu bringen<sup>7</sup>.

Während die württembergische, badische und hessische Gesetzgebung die Ablegung der theologischen Studien auf einer Staatsuniversität unbedingt<sup>8</sup>, die preussische wenigstens als Regel fordert<sup>9</sup>, steht in Baiern<sup>10</sup> und in Oesterreich<sup>11</sup> das theologische Studium an den Lyceen, bezw. den bischöflichen Lehranstalten dem an den Universitätsfakultäten gleich.

Die Konvikte für Studirende der Theologie. Besondere Anstalten, in welchen die Studirenden der Theologie, mögen sie behufs ihres Studiums Fakultäten

<sup>1</sup> Hier trifft die Ausführung S. 561. n. 1 ebenfalls zu.

<sup>2</sup> Das ergiebt die Fassung des Art. 2 des cit. Ges. v. 1886; P. Hinschius a. a. O. S. 27.

<sup>3</sup> Weil der Staat für gesetzwidrig existirende Anstalten keine Mittel gewähren darf.

<sup>4</sup> P. Hinschius a. a. O. S. 28.

<sup>5</sup> S. o. S. 564. 565.

<sup>6</sup> Denn von der Innehaltung dieser Erfordernisse hängt ihre staatliche Berechtigung ab. — Dass die Regierung auch die Mittel für die Freiplätze an solchen Anstalten zurückhalten kann, versteht sich von selbst.

<sup>7</sup> Diese erscheinen gegenüber dem Art. 17 des Konkordates, welcher die betreffenden Beschränkungen nicht kennt, bloß als Konzessionen, vgl. auch o. S. 565. n. 9. So hat auch die Allerh. Entschliessung v. 8. März 1858 nur angedroht, dass bei Nichtinnehaltung der erwähnten Vorschriften bei der Besetzung der Pfründen landesfürstlichen Patronates oder des Patronates eines öffentlichen Fonds, sowie bei der Verwendung von Priestern zu öffentlichen Lehrämtern auf den Umstand werde Rücksicht genommen werden, ob die Bewerber ihre Studien nach den gedachten Vorschriften zurückgelegt haben, Arch. f. k. K. R. 22, 159.

Was Baiern betrifft, so würden für etwa frei von den Bischöfen errichteten Anstalten nach Massgabe des S. 564. n. 3 u. n. 5 Bemerkten alle auch für die Knabenseminare geltenden Vorschriften der Vdg. v. 1873 (s. o. S. 561) zur Anwendung kommen.

<sup>8</sup> S. o. S. 552.

<sup>9</sup> S. o. S. 552, s. aber auch S. 563.

<sup>10</sup> S. o. S. 552.

<sup>11</sup> Wennschon hier an einigen Orten die Semi-

nar-Zöglinge die theologischen Fakultäten, so z. B. in Wien und Prag (— solche bestehen ausserdem in Innsbruck, Graz, Lemberg und Krakau, ferner zwei theologische Fakultäten ausserhalb des Universitätsverbandes in Olmütz und Salzburg —) besuchen, so stehen die Diöcesan-Anstalten und die Fakultäten doch nicht in dem Verhältniss, dass die eine nothwendig durch die andere ersetzt werden müsste, vielmehr sind die Bischöfe berechtigt, auch neben den Fakultäten beliebig Diöcesananstalten zu errichten, sowie sie nur keine staatlichen Mittel dafür beanspruchen, und es können auch die Professoren der theologischen Fakultät zugleich Lehrer an den Diöcesan-seminaren sein, vgl. auch Kult.-Min.-Verordg. v. 30. Juni 1850, Beiträge zum preuss. u. deutsch. K. R. Heft 2. S. 77: „Die theologischen Fakultäten waren bisher, ebensowie die Diöcesan-Lehranstalten, lediglich dazu eingerichtet, den Kandidaten des geistlichen Standes die ihnen für ihren praktischen Beruf unerlässliche Bildung zu geben. Es ist ein tief begründetes Bedürfniss, dass sie fortan die Wissenschaft in einem Maasse fördern, welches die gemeinsamen Bedürfnisse der Bildung aller für die Seelsorge bestimmten Geistlichen übersteigt, und es wird die Sache der Regierung sein, nach Zulass der Umstände für die zu dem Ende erforderliche Vermehrung der Lehrkräfte zu sorgen. Damit wird es in den meisten Fällen sehr wohl vereinbar sein, dass die Professoren der Fakultät oder einige aus ihnen jene Vorträge halten, deren nächster Zweck die Bildung der Kandidaten des geistlichen Standes für ihren Beruf ist und dass daher die Diöcesan-Lehranstalt von den Fakultätsprofessoren mit besorgt werde.“

oder Diöcesan-Lehranstalten besuchen, unter geistlicher Leitung vereinigt und zu einer streng geregelten Lebensweise, sowie zur Theilnahme an geistlichen Uebungen angehalten werden, können in Oesterreich frei von den Bischöfen begründet werden<sup>1</sup>. In Preussen<sup>2</sup> ist die Errichtung solcher Konvikte für Kandidaten des geistlichen Standes gestattet, welche auf den Universitäten oder auf den staatlicherseits für den Ersatz des Universitätsstudiums als geeignet anerkannten Klerikal-Seminaren<sup>3</sup> studiren. In Baiern<sup>4</sup> bedarf es für neue derartige Anstalten der Genehmigung des Kultusministers<sup>5</sup>. In Württemberg würde ebenfalls eine staatliche Erlaubniss erforderlich sein<sup>6</sup>. In Baden<sup>7</sup> und in Hessen<sup>8</sup> ist die Errichtung derartiger Anstalten gesetzlich ausgeschlossen.

Einer Staatsaufsicht unterliegen diese Konvikte in Oesterreich nicht, nur ist der Staatsregierung das Recht zugestanden, vor der Anstellung der Direktoren und Lehrer, welche in der Hand der Bischöfe liegt, ihre politischen Bedenken geltend zu machen<sup>9</sup>. In Baiern fallen die bereits bestehenden Konvikte, soweit sie nicht blos Priesterseminare im eigentlichen Sinne sind, unter dieselben Vorschriften, wie die

<sup>1</sup> Art. 17 des Konkordats. Sie sind hier mit den Diöcesananstalten verbunden, vgl. o. S. 564. n. 4; doch giebt es auch besondere derartige Konvikte, *seminaria clericorum*, deren Alumnen die Vorlesungen der theologischen Fakultäten hören, so z. B. in Prag und Wien, Schulte, *status* p. 22. 44.

<sup>2</sup> Art. 3. d. Ges. v. 21. Mai 1886, o. S. 557. n. 6.

<sup>3</sup> S. o. S. 563.

<sup>4</sup> Hier haben die staatlichen Fonds nur zur Gründung von eigentlichen Priester-Seminaren (auch Klerikalseminare genannt), d. h. für solche, in welche die Kandidaten behufs des letzten für die Praxis vorbereitenden Kursus unentgeltlich aufgenommen werden, ausgereicht, jedoch haben die Bischöfe, soweit es ihnen möglich war, in Verbindung mit diesen Alumnaten oder Konvikten auch Konvikte für die Kandidaten der früheren Kurse, also diejenigen, welche noch an den Fakultäten oder Lyceen studiren, eingerichtet, worin denselben gegen eine mässige Vergütung Verpflegung gewährt wird, Schulte, l. c. p. 92; Permaneder, K. R. 4. Aufl. S. 215 und in Wetzter u. Welte, *Kirchenlexikon*. 2. Aufl. 3, 1078. Ausserdem besteht in München unter staatlicher Leitung das s. g. *collegium Gregorianum*, welches Studierende der Theologie aus dem ganzen Lande aufnimmt.

<sup>5</sup> Nach der o. cit. V. v. 1873 (s. o. S. 558. n. 1), denn auch diejenigen Konvikte, welche die Kandidaten nicht blos für die praktische Seelsorge vorbereiten, sind Anstalten, welche die Heranbildung zum geistlichen Stande bezwecken, so auch Arch. f. k. K. R. 29, 448. Allerdings hat mit Rücksicht auf die Nr. 16 der Allerh. Entsch. v. 8. April 1852 („Von förmlicher Bestätigung der Vorstände und Lehrer an den bischöflichen Klerikal-... Seminaren wird Umgang genommen, und soll die blosse Anzeige genügen, wenn nicht in der einschlägigen Stiftungs- und Dotationsurkunde ein besonderes landesherrliches Recht vorbehalten ist“) der Min.-Erl. v. 20. November 1873 (*Zeitschr. f. K. R.* 12, 260) verordnet: „6. Bezügl. der in Ziff. 16 ... vorbehaltenen Anzeige

über die Anstellung von Vorständen und Lehrern an bischöflichen Seminaren wird auf die Ministerialentschliessung v. 4. Juni 1846 (Döllin) ger, Verordn.-Samml. Bd. 23. §. 1931. S. 124 verwiesen“, welche letztere gleichfalls nur Anzeige der von dem Bischof vorgenommenen Ernennungen an den König verlangt. Aber wenn es auch scheinen könnte, dass der später als die vorhin cit. V. v. 18. April 1873 erst im November ergangene Minist.-Erlass die gedachten Konvikte nicht unter die letztern begriffen wissen will, so würde diese Annahme doch unzutreffend sein, da der Minist.-Erlass die königliche Verordnung nicht beseitigen konnte, und ferner die Entsch. v. 1846 offenbar nur die staatlich fundirten Priesterseminare im eigentlichen Sinne im Auge hat. So löst sich wenigstens am besten der anscheinende Widerspruch. Bei Silbernagl a. a. O. 2. Aufl. S. 94 und Thudichum, deutsch. K. R. 2, 39 ff. ist die Frage nicht berührt.

<sup>6</sup> Hier trifft das o. S. 558. n. 4 Bemerkte zu, denn der Art. 11 d. Gesetzes v. 30. Jan. 1862 bezieht sich auch auf das Wilhelmshofstift, das Konvikt für die Studirenden der Theologie in Tübingen.

<sup>7</sup> Ges. v. 19. Februar 1874. Art. 2, o. S. 557. n. 3. Wenn i. J. 1883 nach Wetzter u. Welte, *Kirchenlexikon* 2. Aufl. 3, 1077 das Konvikt in Freiburg wieder eröffnet sein soll, so ist dies nicht richtig, vielmehr ist nur von einem Geistlichen und Universitätslehrer in dem gemietheten Gebäude des früheren Konvikts ein Privatpensionat für Theologie Studirende gegründet worden.

<sup>8</sup> Gesetz v. 23. April 1875. Art. 3, o. S. 557. n. 3, welches derartige Anstalten nicht gestattet. Hier fällt übrigens auch die Möglichkeit der Errichtung fort, da die Kandidaten auf der Universität zu studiren haben (s. o. S. 566) und eine katholische theologische Fakultät in Hessen nicht besteht.

<sup>9</sup> O. S. 565. n. 1; Schulte l. c. p. 5 u. 6. Ferner ist auch für die Alumnen die Forderung des staatsgültigen Zeugnisses (s. o. S. 565. n. 10) durch Kult.-Min.-Erl. v. 11. Febr. 1873 wiederholt, v. Scherer, *Hdbch. d. K. R.* 1, 325, n. 76.



Knabenseminare<sup>1</sup>, und in Preussen gilt in dieser Beziehung gleichfalls dasselbe, was für die letzteren bestimmt ist<sup>2</sup>.

Das einzige, in Württemberg für die Studirenden der Theologie bestimmte Konvikt, das Wilhelmsstift in Tübingen<sup>3</sup>, ist eine staatliche Anstalt, für welche die staatliche Leitung und Aufsicht, sowie die Befugnisse des Bischofs in derselben Weise, wie bei den niederen Konvikten, geregelt sind<sup>4</sup>.

Die Priesterseminare, mitunter auch Klerikalseminare genannt, sind diejenigen Anstalten, welche für die praktische Vorbereitung der Kandidaten auf das geistliche Amt, insbesondere auf die Seelsorge nach zurückgelegtem wissenschaftlichen Studium, sowie für die Erweiterung und Vertiefung der theologischen Kenntnisse bestimmt sind und dieselben zu gemeinsamem Leben unter geistlicher Leitung vereinigen, also auch zugleich den Charakter von Konvikten haben. In Oesterreich<sup>5</sup>, in Frankreich und Elsass-Lothringen<sup>6</sup> fallen sie mit den S. 562 und S. 566 erwähnten Lehranstalten und Konvikten zusammen, da die theologische Ausbildung an den ersteren auch zugleich die praktische Vorbereitung mit umfasst.

Gesonderte derartige Anstalten kommen dagegen in Baiern, Preussen, Württemberg, Baden und Hessen vor.

Sie können in Preussen<sup>7</sup>, Baden<sup>8</sup> und Hessen<sup>9</sup> ohne jede staatliche Mitwirkung von den kirchlichen Behörden errichtet werden, während in Baiern<sup>10</sup> und Württemberg<sup>11</sup> eine solche nothwendig sein würde.

Die Anstellung und Entfernung der Vorsteher oder Direktoren (Regenten), der Subregenten, der sonstigen Leiter oder Erzieher, sowie der Repetenten an den Priesterseminarien liegt in Preussen<sup>12</sup>, Baiern<sup>13</sup>, Württemberg<sup>14</sup>, Baden und Hessen<sup>15</sup> in der Hand der Bischöfe, in den drei zuletzt gedachten Staaten kommt dabei das Einspruchsrecht gegen der Regierung missliebige Kandidaten, wie bei anderen

<sup>1</sup> S. o. S. 567. n. 5.

<sup>2</sup> S. o. S. 559 ff.

<sup>3</sup> Vgl. o. S. 529.

<sup>4</sup> Vgl. o. S. 561. Die Stelle des Konviktsdirektors wird hier mit der des Stadtpfarrers, welche dem königlichen Patronat unterliegt, verbunden. Bei der Besetzung der ersteren vergewissert sich der Bischof vorher, ob die Krone den in Aussicht genommenen Kandidaten für geeignet hält und bei erreichtem Einverständniss benennt der König den Kandidaten für die Stadtpfarrei, worauf dann mit der Anstellung auch die Ernennung zum Konviktsdirektor erfolgt, Golther a. a. O. S. 364. 522.

<sup>5</sup> Vgl. o. S. 564. n. 4 u. S. 567. n. 1.

<sup>6</sup> S. o. S. 534.

<sup>7</sup> Das Ges. v. 11. Mai 1873. §. 9 hat sie der Staatsaufsicht unterworfen, und d. Ges. v. 21. Mai 1886. Art. 4 bestimmt: „Die kirchlichen Oberen sind befugt, die zur theologisch-praktischen Vorbildung bestimmten Anstalten (Prediger- und Priesterseminare) wieder zu eröffnen. — Dem Minister der geistlichen Angelegenheiten sind die Statuten dieser Anstalten und die für dieselben geltende Hausordnung einzureichen, sowie die Namen der Leiter und Lehrer, welche Deutsche sein müssen, mitzuthellen.“

<sup>8</sup> Ges. v. 19. Februar 1874. Art. 2, s. o. S. 557. n. 3.

<sup>9</sup> Ges. v. 25. April 1875. Art. 3, s. o. S. 557. n. 2.

<sup>10</sup> Da es sich um eine Angelegenheit, welche im Sinne d. Religionsediktes v. 1818. §. 76, lit. d. u. §. 77 zu den gemischten gehört, und bei welcher die kirchlichen Oberen und die Regierung gemeinsam wirken müssen, handelt.

<sup>11</sup> Das Gesetz v. 30. Januar 1862 hat in dieser Beziehung keine Freiheit gewährt.

<sup>12</sup> S. Ges. v. 21. Mai 1886. Art. 4, und auch Ges. v. 11. Mai 1873. §. 10.

<sup>13</sup> Min.-Entschl. v. 4. Juni 1846, nach welcher dem Bischof das betreffende Recht zusteht, s. o. S. 567. n. 5.

<sup>14</sup> Hier ist die o. S. 529. n. 7 gedachte Bestimmung des Fundationsinstrumentes für das allein in Frage kommende Priesterseminar in Rottenburg, soweit dasselbe das Ernennungsrecht des Bischofs durch die Einholung eines Gutachtens und der königlichen Bestätigung einschränkt, durch das Ges. v. 30. Januar 1860. Art. 2. 4 beseitigt worden, s. auch die Motive zu dem cit. Art. bei Golther a. a. O. S. 487. Was die Entfernung betrifft, so bestimmt §. 2, dass der Regens und Subregens nur unter denselben Formen wie die anderen Kirchendiener entlassen werden dürfen, es gelten also jetzt für sie die die Disziplinargewalt des Bischofs anerkennenden Artikel 5 u. 6 des Ges. v. 30. Januar 1862.

<sup>15</sup> In beiden Staaten sind durch die cit. Gesetze keine Beschränkungen gemacht.

Kirchenämtern zur Anwendung<sup>1</sup>, während in Preussen und in Baiern bloß Anzeige der ernannten Personen an den Kultusminister<sup>2</sup>, bezw. an den König<sup>3</sup> erforderlich ist.

Die Qualifikation als Deutscher wird in Preussen<sup>4</sup> und Hessen<sup>5</sup> für die Leiter und Lehrer, in Württemberg und Baden<sup>6</sup> ebenfalls das Indigenat, ausserdem aber hier und in Hessen die für Kirchenämter allgemein vorgeschriebene wissenschaftliche Bildung verlangt<sup>7</sup>.

Was die Leitung der Seminarien betrifft, also die Bestimmung über die nähere Organisation, die Dauer des Kursus<sup>8</sup>, über den Lehrplan, über die Haus- und Disziplinar-Ordnung, über die Qualifikation und die Aufnahme der Kandidaten, so steht diese in Preussen<sup>9</sup>, Baiern<sup>10</sup> und Baden<sup>11</sup> dem Bischof ohne jede Betheiligung der Staatsbehörde zu<sup>12</sup>.

In Württemberg ist dagegen allein die Aufnahme solcher Zöglinge gestattet, welche am Schluss ihrer theologischen Studien die s. g. Fakultätsprüfung bestanden<sup>13</sup>, in Hessen nur derjenigen, welche den gesetzlichen „Vorschriften wegen des Universitätsbesuches genügt haben“<sup>14</sup>.

<sup>1</sup> Für Württemberg s. die in Anm. 14 vor. S. cit. Motive, a. a. O.: „Jenes Ausschliessungsrecht greift also in gleicher Weise Platz ... bei Ernennung der Vorstände und Repetenten des Priesterseminars in Rottenburg.“ Wegen Baden s. Ges. v. 9. Oktober 1860 u. Ges. v. 19. Februar 1874. Art. 1, Abs. 6: „Die Bestimmungen dieses Paragraphen finden auch Anwendung ... auf die Vorsteher und Lehrer des Seminars“, und wegen Hessen s. o. Bd. III. S. 183 ff., da die Aemter der gedachten Personen im Sinne des cit. hessischen Gesetzes v. 1875 ebenfalls als Kirchenämter betrachtet werden müssen, welche mit einem Geistlichen zu besetzen sind.

<sup>2</sup> S. das cit. Gesetz v. 21. Mai 1886. Art. 4. Nach dem Wortlaute des letzteren bezieht sich dies allerdings nur auf die nach Erlass des Gesetzes wieder eröffneten Priesterseminare, also nicht auf etwaige neu von den kirchlichen Oberen gegründete, vielmehr sind für diese die weitergehenden Vorschriften des früheren Gesetzes vom 11. Mai 1873. §. 9 ff (also auch das staatliche Einspruchsrecht), P. Hinschius, preuss. Kirchengesetze v. 1873. S. 120, offenbar in Folge der eifertigen Durchberathung des Gesetzes aus Versehen in Geltung gelassen, P. Hinschius, preuss. Kirchengesetze v. 1886. S. 20, 21; Heiner S. 10. Praktisch ist die Sache belanglos, da die Bischöfe neben den früher vorhandenen, deren Wiedereröffnung — in Breslau und in Münster ist sie im Spätherbst 1886 erfolgt — nichts im Wege steht, kaum neue Seminare begründen dürften.

<sup>3</sup> S. d. bair. M.-Entsch. v. 4. Juni 1846, o. S. 567. n. 5.

<sup>4</sup> Cit. Art. 4 des Ges. v. 1886.

<sup>5</sup> S. o. Anmerk. 1. Vgl. noch Bd. II. S. 504.

<sup>6</sup> S. a. a. O.

<sup>7</sup> Aus den a. a. O. angeführten Gründen, vgl. noch Bd. II. S. 508, 509 und für Baden jetzt noch o. S. 21. n. 4.

<sup>8</sup> Diese beträgt für die Regel ein oder zwei Jahre.

<sup>9</sup> Cit. Art. 4 des Gesetzes v. 1886.

<sup>10</sup> Vgl. Silbernagl a. a. O. 2. Aufl. S. 95.

<sup>11</sup> S. unten Anm. 14.

<sup>12</sup> Behufs ihrer Aufnahme in das Priesterseminar, in welchem sie später die heiligen Weihen empfangen, haben die Kandidaten für die Regel nach Vollendung ihrer wissenschaftlichen und theologischen Studien eine besondere Aufnahmeprüfung (in Baiern Synodal-Examen genannt), über deren Einrichtung der Bischof zu bestimmen hat, abzulegen, vgl. auch Gerlach, Paderborner Diöcesanrecht. 2. Aufl. S. 22.

<sup>13</sup> S. o. S. 551. n. 4, denn auf Grund besonderer Verhandlungen wird diese vom Bischof vorbehaltlich seines Rechtes, nach Umständen eine besondere Prüfung abzuhalten, zugleich als Aufnahmeprüfung für das Seminar (§. 5 d. Statutes v. 1828) betrachtet, und es werden von ihm aus der Zahl der von der Fakultät für befähigt erklärten Kandidaten diejenigen aufgenommen, welche er nach dem Gutachten der Konviktskommission und der von ihm entsendeten Abgeordneten für würdig erachtet. Die Aufnahme eines in der Schlussprüfung nicht bestandenen Kandidaten ist die Regierung zu verbieten und rückgängig zu machen befugt. S. auch o. S. 529. n. 6 u. 7.

<sup>14</sup> Ges. v. 23. April 1875. Art. 3, Abs. 2, o. S. 557. n. 2 und Bd. II. S. 508. Dadurch ist in Hessen die Vorschrift des §. 8 d. V. v. 1. März 1863, o. S. 537. n. 1 aufgehoben worden.

Auch für Baden muss die Beseitigung des angef. §. 8 angenommen werden, denn das Gesetz v. 9. Oktober 1860. §. 12, o. S. 557. n. 3, hatte der Kirche in Betreff der Priesterseminare freie Hand gelassen, und das Gesetz v. 19. Febr. 1874 hat in der hier fraglichen Beziehung keine besondere Beschränkung eingeführt, so auch die Regierungsmotive zu dem Ges. v. 5. März 1880, o. S. 21. n. 2 i. Zeitschr. f. K. R. 15, 468. Praktisch stellt sich also die Sache ähnlich wie in Hessen, da nach d. V. d. erzbisch. Kapitels-Vikariates v. 22. April 1880. §. 1, Zeitschr. f. K. R.

Die Priesterseminare unterliegen in Preussen<sup>1</sup>, Württemberg<sup>2</sup> und Hessen<sup>3</sup> der allgemeinen Staatsaufsicht. In Württemberg ist insbesondere der Lehrplan der Staatsbehörde einzureichen und darf ohne Zustimmung derselben ebensowenig wie die Haus- und Disziplinar-Ordnung abgeändert werden<sup>4</sup>, während in Preussen die Mittheilung des Lehrplanes und der Hausordnung an den Kultusminister genügt<sup>5</sup>.

Endlich sind die Staatsbehörden in Preussen, Württemberg und Hessen kraft ihres Aufsichtsrechtes auch zur Vornahme von Revisionen berechtigt<sup>6</sup> und befugt, falls die bestehenden gesetzlichen Bestimmungen nicht beobachtet werden, zur Schliessung der Anstalten zu schreiten<sup>7</sup>, sowie die zur Unterhaltung derselben ausgesetzten Staatsmittel einzubehalten<sup>8</sup>.

Die vorstehend besprochenen gesetzlichen Bestimmungen über die verschiedenen Arten der geistlichen Erziehungs- und Bildungsanstalten sind praktisch auf die regelmässig vorkommenden Institute der katholischen Kirche berechnet, welche den Bedarf an inländischen Geistlichen zu decken bestimmt sind. Denkbar wäre es, dass dieselbe in dem einen oder andern der erwähnten Länder auch die Errichtung von Anstalten, welche der Heranziehung und Heranbildung ausländischer Geistlicher (z. B. zu Missionszwecken in dem Heimathslande der letzteren) dienen sollen, unternehmen wollte<sup>9</sup>. Ganz abgesehen davon, dass keine Regierung Ausländer, welche derartige Zwecke in ihrem Staate verfolgen, zu dulden braucht, vielmehr durch Ausweisung

16, 166: „Die Kandidaten der Theologie haben spätestens vier Wochen vor Abhaltung des kirchlichen concursus pro seminario Zeugnisse über die von ihnen bestandene Abiturienten-, bezw. Maturitätsprüfung, über dreijährigen Besuch einer deutschen Universität, sowie darüber vorzulegen, dass sie während ihres Universitätsstudiums drei (mindestens vier Stunden in der Woche betragende) Vorlesungen aus dem Lehrkreise der philosophischen Fakultät mit Fleiss gehört haben. — Wir werden diese Zeugnisse jeweils dem grossherzoglichen Ministerium des Innern mittheilen, dadurch, wie überhaupt die erforderlichen Schritte thun, damit der Verwendung der Kandidaten der Theologie im Kirchendienste kein staatsgesetzliches Hinderniss im Wege stehe.“ nur solche Kandidaten zur Aufnahme in das Seminar zugelassen werden, welche den Nachweis der staatlich vorgeschriebenen Bildung, s. Bd. II. S. 508. 509 und oben S. 21. n. 4, erbringen können.

<sup>1</sup> Ges. v. 11. Mai 1873. §. 9, s. o. S. 559. n. 5.

<sup>2</sup> S. o. S. 529. n. 7. Das Statut für das Priesterseminar in Rottenburg v. 1828 (Beilage D. zum Fundationsinstrument für das Bisthum) sollte zwar nach der Beilage 3 zum Konkordate, Reyscher, d. österreich. u. württemb. Konkordat. 2. Aufl. Tübingen 1858. S. 143, aufgehoben werden. Dies ist aber in Folge der Nichtdurchführung des Konkordates unterblieben. Das Gesetz v. 1862 hat allein (Art. 22) die mit ihm in Widerspruch stehenden Vorschriften der früheren Gesetze beseitigt und enthält abgesehen von dem S. 569. n. 1 berührten Punkt keine das Statut für das Priesterseminar direkt oder indirekt beeinflussenden Bestimmungen.

<sup>3</sup> S. o. S. 557. n. 2. Das badische Gesetz v. 19. Febr. 1874. Art. 2, o. S. 557. n. 3, erwähnt der Staatsaufsicht nicht, und der in Bezug genommene

§. 108 des Gesetzes v. 8. März 1868 („Die Einrichtung solcher Privat-Lehr- und Erziehungsanstalten, in welche ausschliesslich Schüler unter oder über dem schulpflichtigen Alter aufgenommen werden, ist der Staatsbehörde anzuzeigen. — Derselben bleibt das Recht der Einsichtnahme vorbehalten und sie kann die Schliessung der Anstalt verfügen, wenn der Lehrplan derselben etwas den guten Sitten Zuwiderlaufendes oder den Staat Gefährdendes enthält oder ihre Einrichtungen für die Gesundheit der Schüler gefährlich sind“) bezieht sich nur auf Anstalten für Schüler, zu welchen die Priesterseminare nicht gehören.

<sup>4</sup> S. o. S. 529. n. 7.

<sup>5</sup> Cit. Ges. v. 1886. Art. 4.

<sup>6</sup> Für Preussen s. o. S. 561. n. 1; für Württemberg Statut von 1828. §§. 1. 8, o. S. 529; für Hessen Ges. v. 1873. Art. 3, S. 557. n. 3.

<sup>7</sup> Für Hessen s. d. cit. Ges., für Preussen und Württemberg ergibt sich diese Befugnis daraus, dass der Staat gesetzwidrig bestehende und verwaltete Anstalten nicht zu dulden braucht, s. auch P. Hinschius, preuss. Kirchengesetz v. 1866. S. 28. Dieses Recht ist auch durch das angeführte badische Gesetz v. 1874. Art. 2 der Regierung gesichert.

<sup>8</sup> Denn unter der gedachten Voraussetzung würde der Staat seine Mittel für gesetzwidrige Zwecke gewähren, P. Hinschius a. a. O. S. 28.

<sup>9</sup> Ueber derartige Gründungen in früherer Zeit s. o. S. 513 u. S. 515. n. 2, ein Beispiel einer solchen noch heute in einem anderen Staate bestehenden Anstalt bietet das Kolleg in Lissabon, s. o. S. 516. n. 2.

Wegen der hierher gehörigen Institute in Rom s. unten die letzte Anm. zu diesem Paragraph.

derselben<sup>1</sup> jedem derartigen Institut die Lebensfähigkeit unterbinden könnte, würden die gedachten gesetzlichen Vorschriften auch auf solche Bildungsanstalten, je nach ihrem Charakter<sup>2</sup>, Anwendung finden, weil sich dieselben auf alle innerhalb ihres Geltungsbereiches zu begründenden, derartigen Institute ohne Rücksicht darauf, ob in ihnen bloß die Erziehung und Bildung für den inländischen Kirchendienst oder für andere Zwecke ertheilt werden soll, beziehen<sup>3</sup>.

In den in der vorangehenden Darstellung nicht erwähnten deutschen Staaten, bestehen, abgesehen vom Königreich Sachsen, keine besonderen hierher gehörigen Vorschriften. Die sächsische Gesetzgebung erwähnt der geistlichen Bildungsanstalten auch nicht einmal ausdrücklich, da sich ein Bedürfniss zu einer näheren Regelung nicht gezeigt hat<sup>4</sup>, jedoch würde nach den sonstigen allgemeinen Bestimmungen zur Errichtung derartiger Institute die Genehmigung des Kultusministers<sup>5</sup> erforderlich sein<sup>6</sup>.

In den anderen Staaten, — es sind die kleineren deutschen Länder, in welchen sich keine Bischofssitze befinden, und in denen eine verhältnissmässig geringe Anzahl von Katholiken dem Bisthume eines Nachbarstaates zugewiesen ist oder von dort aus pastorirt wird<sup>7</sup>, — bestehen keine geistlichen Bildungsanstalten der katholischen Kirche. Bischöfliche Lehranstalten und Priesterseminare dürften auch unter den gedachten Umständen in denselben kaum errichtet werden, höchstens könnte bei einer Vermehrung der Katholiken die Errichtung von Knabenseminaren praktisch in Frage kommen. Trotz des Mangels hierher gehöriger Bestimmungen ist indessen die Kirche in diesen Ländern jedenfalls nicht berechtigt, geistliche Bildungsanstalten irgend welcher Art frei zu errichten, zu organisiren und zu leiten. Vielmehr würde es in denjenigen Staaten, in welchen das Placet nicht nur für allgemeine Anordnungen, sondern auch für spezielle, dem Gebiet der Verwaltung angehörende Verfügungen in Geltung steht, d. h. in Sachsen-Weimar<sup>8</sup>, in Coburg, in Gotha<sup>9</sup>, in Braunschweig<sup>10</sup> und in Lübeck<sup>11</sup>, ferner in denjenigen, in welchen der katholischen Kirche bloß bestimmt bemessene, enger oder weiter begrenzte Rechte gewährt sind, wie in Lippe-Detmold<sup>12</sup>, Schwarzburg-Rudolstadt<sup>13</sup> und Mecklenburg<sup>14</sup> stets einer besonderen Genehmigung der Staatsregierung zu derartigen Massnahmen bedürfen. Ja, selbst da, wo der Kirche verfassungsmässig die selbstständige Ordnung und Verwal-

<sup>1</sup> G. Meyer, Lehrb. d. deutsch. Staatsrechts. 2. Aufl. S. 638 und Lehrb. d. deutsch. Verwaltungsrechts 1, 143.

<sup>2</sup> Also je nachdem dieselben den Charakter eines Knaben-, Klerikal- oder Priester-Seminars haben.

<sup>3</sup> Eine Beschränkung auf Inländer und auf Zwecke des inländischen Kirchendienstes weisen die gesetzlichen Vorschriften nicht auf, auch würde eine solche bloß die Handhabe für mögliche Umgehungen derselben bieten.

<sup>4</sup> Die katholischen Geistlichen, welche in Sachsen fungiren, empfangen zum überwiegenden Theil ihre Vorbildung in Prag. Hier besuchen sie das Gymnasium und die Universität, gleichzeitig erhalten sie Wohnung und Unterhalt in einem für die Gymnasialzöglinge und die Studenten bestimmten Konvikt, dem s. g. wendischen Seminar, welches unter der Aufsicht des Stiftes in Bautzen steht und von einem seitens des letzteren ernannten geistlichen Inspektor ge-

leitet wird, s. die Motive z. d. Gesetz v. 1876, Zeitschr. f. K. R. 14, 215.

<sup>5</sup> Nach dem Ges. v. 23. August 1876. §. 29, Bd. II. S. 466. n. 2 bedürfen „neue Einrichtungen jeglicher Art“ dieser Genehmigung, und zu solchen gehören auch die geistlichen Bildungsanstalten, vgl. die Motive des Gesetzes, Ztschr. f. K. R. 14, 218. 226.

<sup>6</sup> Ueber eine weitere allerdings kaum nennenswerthe Ausnahme betreffend Sachsen-Weimar s. o. S. 548. n. 3.

<sup>7</sup> S. z. B. o. S. 19. n. 8 u. 9.

<sup>8</sup> Bd. III. S. 761 n. 5.

<sup>9</sup> A. a. O. S. 853.

<sup>10</sup> Landesverfassung v. 1832. §. 215, a. a. O. S. 761. n. 4, s. auch §. 212, o. S. 17. n. 2.

<sup>11</sup> Art. 12 des o. S. 18. n. 11 cit. Regulativs.

<sup>12</sup> Erl. v. 9. März 1854, Beiträge z. preuss. u. deutsch. K. R. Hft. 2, 82.

<sup>13</sup> V. v. 1872, Arch. f. k. K. R. 36, 411.

<sup>14</sup> S. die o. S. 18. n. 11 cit. Schrift.

tung ihrer Angelegenheiten eingeräumt ist, — hierher gehören Oldenburg<sup>1</sup> und Waldeck<sup>2</sup> — könnte die Errichtung, die Organisation und Leitung solcher Anstalten, weil es sich dabei keineswegs um eine rein kirchliche, für den Staat gleichgültige Angelegenheit, sondern um Erziehungs- und Unterrichts-Institute handelt, nicht ohne Beobachtung der gesetzlichen Vorschriften über Begründung solcher Anstalten erfolgen<sup>3</sup>.

*Viertes Kapitel: Die Betheiligung der Kirche an dem Unterricht und der Erziehung der Laien oder das rechtliche Verhältniss der Kirche zu den Bildungsanstalten für die Laien (zu den Volks-, Mittel-, gelehrten Schulen und Universitäten)<sup>4</sup>.*

§. 236. I. Die allgemeinen Grundsätze des kirchlichen Rechts<sup>5</sup>.

Aus dem der Kirche ertheilten Lehrauftrage folgt ihr ausschliessliches Recht, den Religionsunterricht an die Erwachsenen und an die Jugend zu ertheilen<sup>6</sup>, und aus der ihr zukommenden Lehrgewalt für die mit derselben ausgestatteten Organe, d. h. für den Papst und die Bischöfe<sup>7</sup> das Recht, die erforderlichen allgemeinen Anordnungen über die Ertheilung des gedachten Unterrichts und über die dazu nothwendigen Einrichtungen zu treffen, sowie denjenigen, welchen nicht schon kraft ihres Amtes die Befugniss zum Unterricht in der Religion zusteht, die Ermächtigung dazu zu geben<sup>8</sup>.

<sup>1</sup> Rev. Staatsgrundgesetz v. 22. November 1852. Art. 78.

<sup>2</sup> Verf.-Urk. v. 17. August 1852. §. 42.

<sup>3</sup> Was die ausländischen Staaten abgesehen von Frankreich betrifft, so hat für Italien das Garantiesgesetz v. 13. Juni 1871. Art. 13: „Nella città di Roma e nelle sei sedi suburbicarie i seminari, le academie, i collegi e gli altri istituti cattolici fondati per la educazione e cultura degli ecclesiastici continueranno a dipendere unicamente dalla santa sede senza alcuna ingerenza delle autorità scolastiche del regno“, die volle Freiheit für alle Bildungsanstalten in Rom und in den suburbikarischen Bisthümern gewährt. Aber auch ausserhalb dieser Sprengel ordnen die kirchlichen Oberen die gesammte Vorbildung der Geistlichen völlig frei und unabhängig vom Staate, Geigel, italien. Staatskirchenrecht. 2. Aufl. Mainz 1886. S. 114 (Arch. f. k. K. R. 55, 223); Fr. Scaduto, guarentie pontificie. Torino 1884. p. 417. Soweit das Vermögen nicht in Frage kommt, wird über die Bildungsanstalten gleichfalls keine Staatsaufsicht geübt, jedoch sind die Verzeichnisse der Beamten und Lehrer, sowie der Zöglinge der Knabenseminare vor dem Beginn jedes Schuljahres vorzulegen, und es müssen die vom Ministerium als ungeeignet bezeichneten Lehrer entfernt werden, Geigel S. 115. Die Poenitentiaria hat unter der Bedingung, dass sich der Bischof passiv verhält und der Leiter des Seminars jedesmal protestirt, es „tolerirt“, dass dieser den Staatsbehörden die erforderlichen Anzeigen erstattet und

einer Revision der Anstalt durch einen Staatskommissar kein Hinderniss in den Weg legt, sofern sich der Staat nicht in die Studien- und Disziplinarordnung einmischet, Acta s. sed. 9, 111. Die staatlichen theologischen Fakultäten sind durch Gesetz v. 26. Januar 1873 aufgehoben worden, Fr. Scaduto, l'abolizione delle facoltà di teologia in Italia (1873). Torino 1886 (das Gesetz a. a. O. p. 44. n. 42).

Bei dem in Nordamerika und in Belgien herrschenden System der s. g. Trennung von Kirche und Staat besteht hier gleichfalls völlige Freiheit der Kirche in der Ausbildung ihrer Geistlichen und der Errichtung von geistlichen Anstalten, Rüttimann, Kirche u. Staat in Nordamerika, S. 75; Friedberg, Grenzen zwischen Staat u. Kirche, S. 637 ff.

<sup>4</sup> Um eine Darstellung des Schulrechtes als solchen kann es sich hier nicht handeln, vielmehr nur um eine Erörterung derjenigen Rechte, welche die Kirche hinsichtlich der Erziehung und Bildung der Laien für sich beansprucht, sowie um die Darlegung, inwieweit die modernen Staaten die betreffenden Forderungen der Kirche ihrerseits anerkennen.

<sup>5</sup> Alph. Jansen, de facultate docendi seu de scholis institutiones juridicae. Aquisgrani 1885.

<sup>6</sup> Oben S. 433.

<sup>7</sup> S. 433. 435. 443. 445.

<sup>8</sup> S. 447.



Zweck der Lehrthätigkeit der Kirche, der Ausübung ihres Lehrauftrages und ihrer Lehrgewalt, ist die Erziehung der Menschheit zum ewigen Heile durch Vermittelung der übernatürlichen Wahrheiten. Die sonstige menschliche Erkenntniss und die menschliche Wissenschaft ist nach der Auffassung der katholischen Kirche diesen gegenüber nicht etwas selbstständiges und unabhängiges<sup>1</sup>. Führt sie zu Ergebnissen, welche den übernatürlichen Wahrheiten entgegenstehen, so können erstere nur falsch, nur Irrthümer<sup>2</sup> sein. Da die Kirche aber den ihr zur Verwaltung übergebenen Glaubensschatz vor solchen zu bewahren und diese zu verwerfen sowohl berechtigt als auch verpflichtet ist<sup>3</sup>, so hat alle menschliche Wissenschaft die durch den katholischen Glauben gesteckten Grenzen einzuhalten<sup>4</sup>, und es folgt daher aus dem Lehrauftrag und der Lehrgewalt der Kirche ihr Recht, einmal das, was echte, christliche Wissenschaft ist, festzustellen, und das, was nur scheinbar sich als Wissenschaft darstellt, zu verurtheilen<sup>5</sup>, ferner das Recht, über die Entwicklung und die Lehre der Wissenschaft eine beständige Aufsicht zu führen, und auf die Lehrer und die Lehranstalten in der Weise einzuwirken, dass sie von der Pflege und Ueberlieferung christlicher Wissenschaft nicht abweichen<sup>6</sup>, endlich auch die Befugniss, wennschon nicht als eine ihr allein und ausschliesslich zustehende, selbst Lehranstalten aller Art, von der Volksschule bis zur höchsten, der Universität, zu errichten und zu leiten<sup>7</sup>. Denn alle menschliche Wissenschaft hat dem höchsten Ziel der Menschheit, der Heiligung derselben, zu dienen, und diejenige Anstalt, deren göttlicher Beruf in der Verwirklichung dieses Zweckes besteht, ist vor allen anderen dazu befähigt, auch die Pflege der den kirchlichen Zielen dienenden Wissenschaften auf sich zu nehmen und diese so zu gestalten, dass sie der Erreichung jenes höchsten Zweckes die geeignete Förderung gewährt.

Wie sonach aus dem durch das göttliche Recht bestimmten Verhältniss sämtlicher Wissenschaften zu den übernatürlich geoffenbarten Wahrheiten alle gedachten Befug-

<sup>1</sup> Vgl. die durch den Syllabus von 1864 verworfenen Sätze: VIII: „Quum ratio humana ipsi religioni aequiparetur, ideo theologiae disciplinae perinde ac philosophicae tractandae sunt“; IX: „Omnia indiscriminatim dogmata religionis christiana sunt obiectum naturalis scientiae seu philosophiae; et humana ratio historice tantum exulta potest ex suis naturalibus viribus et principiis ad veram de omnibus etiam reconditoribus dogmatibus scientiam pervenire, modo haec dogmata ipsi rationi tanquam obiectum proposita fuerint“; XIV: „Philosophia tractanda est, nulla supernaturalis revelationis ratione habita.“ Vgl. dazu Schreiben Pii IX: Gravissimas vom 11. Dezember 1862 betreffend die Philosophie Froschhammers, Arch. f. k. K. R. 10, 114, und das o. S. 538. n. 8. cit. Schreiben v. 1863.

<sup>2</sup> Von Pius IX. am 15. Juni 1855 genehmigte Thesis der Congr. Ind., Arch. f. k. K. R. 10, 419: „Etsi fides sit supra rationem, nulla tamen vera dissensio, nullum dissidium inter ipsos inveniri unquam potest, quum ambae ab uno eodemque immutabili veritatis fonte, deo optimo maximo, oriantur atque ita sibi mutuum opem ferant“, zum Theil wörtlich wiederholt in Const. dogmat. Vatican. conc. de fide catholica v. 24. April 1870 (Bd. III. S. 463. 464, c. 4).

<sup>3</sup> Oben S. 443. 445.

<sup>4</sup> Syllabus X: „Quum aliud sit philosophus, aliud philosophia, ille ius et officium habet se submitendi auctoritati, quam veram ipse probaverit; at philosophia neque potest neque debet ulli sese submittere auctoritati“; XI: „Ecclesia non solum non debet unquam in philosophiam animadvertere, verum etiam debet ipsius philosophiae tolerare errores eique relinquere, ut ipsa se corrigat“; XII: „Apostolicae sedis romanarumque congregationum decreta liberum scientiae progressum impediunt“; LVII: „Philosophicarum rerum morumque scientia itemque civiles leges possunt et debent a divina et ecclesiastica auctoritate declinare.“

<sup>5</sup> Const. dogmat. conc. Vatican. de fide catholica. cit. c. 4: „Porro ecclesia, quae una cum apostolico munere docendi, mandatum accepit fidei depositum custodiendi, ius etiam et officium divinitus habet falsi nominis scientiam proscribendi, ne quis decipiatur per philosophiam et inanem fallaciam“ und canones de fide IV. 2: „Si quis dixerit, disciplinas humanas ea cum libertate tractandas esse, ut earum assertiones, etsi doctrinae relevatae adversentur, tanquam verae retineri neque ab ecclesia proscribi possint, anathema sit.“

<sup>6</sup> Vgl. hierzu auch Jansen p. 61 ff.

<sup>7</sup> L. c. p. 74. 85. 87. 91. Vgl. auch des Weiteren die folgenden Paragraphen.

nisse der Kirche folgen und daher gleichfalls aus dem göttlichen Recht<sup>1</sup> herfließen, so ergeben sie sich auch aus dem Recht und der Pflicht der Kirche, die Menschen zum ewigen Heile zu erziehen. Diese Thätigkeit hat den Einzelnen von dem zartesten Alter an zu erfassen, und da die religiöse Unterweisung und die religiös sittliche Heranbildung den Mittelpunkt aller Erziehung und alles Unterrichtes bilden muss, so folgt auch aus dem prinzipalen, der Kirche kraft göttlichen Rechtes zukommenden Recht auf die christliche Erziehung der heranwachsenden Jugend, das accessorische Recht, allen übrigen Unterricht der Jugend in massgebender Weise zu bestimmen und zu leiten.

Durch diese kirchlichen Ansprüche ist prinzipiell jede Selbstständigkeit des staatlichen Schulwesens, sowohl des niederen wie des höheren, negirt.<sup>2</sup> Während für die Kirche die volle Unterrichtsfreiheit in aller und jeder Beziehung kraft göttlichen Rechtes<sup>3</sup> beansprucht wird, insbesondere das Recht, nicht nur ohne jede staatliche Mitwirkung niedere und höhere Schulen zu errichten und zu leiten<sup>4</sup>, sondern auch die Leitung aller sonstigen vom Staat oder anderen Korporationen gegründeten, für Katholiken bestimmten Lehranstalten zu führen<sup>5</sup>, bleibt dem Staate jede Befugniss in Betreff der Erziehung und des Unterrichts den Eltern gegenüber<sup>6</sup>, sowie das Recht, die Gründung von Schulen durch seine Unterthanen zu hindern<sup>7</sup> und den Schulzwang für die von ihm errichteten Schulen einzuführen<sup>8</sup>, versagt. Er kann allein dann, wenn anderweitig nicht dafür gesorgt wird, die erforderlichen Schulen errichten<sup>9</sup>, aber

<sup>1</sup> Vgl. c. 4 const. dogmat. conc. Vatic. cit.; Jansen p. 61 ff. 74.

<sup>2</sup> Der Syllabus verdammt folgende Lehren, XLV: „Totum scholarum publicarum regimen, in quibus iuventus christianae alicuius rei publicae instituitur, episcopalibus dumtaxat seminariis aliqua ratione exceptis, potest ac debet attribui auctoritati civili et ita quidem, ut nullum alii cuicumque auctoritati recognoscatur ius immiscendi se in disciplina scholarum, in regimine studiorum, in graduum collatione, in delectu aut approbatione magistrorum“. XLVII: „Postulat optima civilis societatis ratio, ut populares scholae quae patent omnibus cuiusque e populo classis pueris, ac publica universim instituta quae litteris severioribusque disciplinis tradendis et educationi iuventutis curandae sunt destinata, eximantur ab omni ecclesiae auctoritate, moderatrice vi et ingerentia plenaeque civilis ac publicae auctoritatis arbitrio subiciantur ad imperantium placita et ad communium aetatis opinionum amussim“ (vgl. Schreiben Pius' IX. v. 14. Juli 1864, Arch. f. k. K. R. 12, 325); XLVIII: „Catholicis viris probari potest ea iuventutis instituendae ratio, quae sit a catholica fide et ab ecclesiae potestate seiuncta quaeque rerum dumtaxat naturalium scientiam ac terrenaesocialis vitae fines tantummodo vel saltem primario spectet“. S. auch Allokution Pius' IX. v. 22. Juni 1868 betreffend das österr. Schulgesetz v. 1868, Arch. f. k. K. R. 20, 171.

<sup>3</sup> Jansen l. c. p. 74; s. ferner Würzburger Bischofsversammlung v. 1848, Arch. f. k. K. R. 21, 255 ff.; Würzburger Denkschrift der deutschen Bischöfe v. 14. November 1848, Ginzel, Arch. f. Kirchengeschichte. Hft. 2. S. 50.

<sup>4</sup> Jansen p. 85. 91. Vgl. auch den Protest

der preuss. Bischöfe gegen das Schulaufsichtsgesetz v. 1872, Arch. f. k. K. R. 28, 36. Die von der Kirche errichteten Schulen erklärt L. de Hammerstein, de ecclesia et statu iudicis consideratis. Trevis (1886) p. 146 für rein kirchliche Anstalten (res mere ecclesiasticae).

<sup>5</sup> Jansen l. c. p. 79; v. Hammerstein, die Schulfrage. 2. Aufl. Freiburg 1877. S. 33; de Hammerstein l. c. p. 146. 158; Flor. Riess, d. moderne Staat u. die christliche Schule. Freiburg 1868. S. 18 leitet aus der Verwerthung der oben Anm. 2 angeführten Thesen des Syllabus die positiven Sätze her: „2) In der christlichen Ordnung ist die Schule kraft göttlichen Rechtes zugleich eine kirchliche Anstalt; sie schliesst deshalb die Trennung von der Kirche aus. 3) Als eine solche Anstalt untersteht die christliche Schule dem kirchlichen Lehramte; hiermit unverträglich ist ihre ausschliessliche staatliche Leitung“.

<sup>6</sup> Jansen l. c. 149.

<sup>7</sup> L. c. p. 152.

<sup>8</sup> Jansen l. c. p. 158; de Hammerstein p. 98; Riess S. 75 ff.

<sup>9</sup> Nach de Hammerstein p. 182, wenn die Eltern dies verlangen, und wenn ausserdem die Errichtung zum öffentlichen Nutzen gereicht, was aber nicht der Fall ist, wenn schon eine hinreichende Zahl von Schulen durch die Kirche, insbesondere durch geistliche Genossenschaften gegründet ist, ähnlich auch Jansen p. 165 in Betreff der niederen Schulen, während er dem Staat das Recht zur Gründung höherer Schulen und Universitäten p. 174. 186 zubilligt, weil diese von den Unterthanen oder von anderen Korporationen wegen der grösseren Kosten nicht leicht errichtet werden können.

auch diese unterstehen nicht seiner massgebenden Leitung<sup>1</sup>, und namentlich ist er nicht befugt, die entscheidende Einwirkung der Kirche auf dieselben auszuschliessen<sup>2</sup>.

## II. Das Verhältniss der Kirche zu den verschiedenen Bildungsanstalten.

### A. Zur Volksschule.

#### §. 237. 1. Geschichtliche Einleitung<sup>3</sup>.

Die Kirche hat zwar von jeher die Erziehung und die Unterweisung der Jugend in den Kreis ihrer Aufgaben einbezogen, indessen hat es sich für dieselbe dabei wesentlich nur um den Unterricht in den nothwendigen Glaubenswahrheiten des Christenthums<sup>4</sup> und um die Ausbildung von zukünftigen Geistlichen<sup>5</sup> gehandelt. Abgesehen von der karolingischen Periode, in welcher die Gesetzgebung bei ihrer Fürsorge für den Volksunterricht gleichfalls von den eben gedachten Gesichtspunkten beherrscht gewesen ist<sup>6</sup>, hat die Kirche die massgebende Leitung des Unterrichts bis über das Mittelalter hinaus ausschliesslich in ihrer Hand behalten<sup>7</sup>.

War bis zum Ende des 12. Jahrhunderts in den Kreisen der Laien, selbst in denen der oberen Stände, kein Bedürfniss nach einer anderen Bildung als der absolut nothwendigen Vorbereitung in den christlichen Glaubenswahrheiten hervorgetreten, und genügten somit die dafür bestehenden kirchlichen Einrichtungen, so blieb auch die herrschende Stellung der Kirche noch im wesentlichen unverändert, als seit der erwähnten Zeit unter den Bürgern der emporblühenden Städte sich die Nothwendigkeit nach einer besonderen weltlichen Bildung, nach den für den Handel, das Gewerbe und das Handwerk erforderlichen Kenntnissen geltend machte. In Anknüpfung an die frühere Sitte, dass der Pfarrer Unterricht erteilte und Schule hielt, wurden seit dem 13. Jahrhundert in einer Reihe von Städten unter thätiger Theilnahme der Gemeindebehörden und Bürger Schulen bei den Pfarreien begründet<sup>8</sup>, da die alten Pfarr-<sup>9</sup> und

<sup>1</sup> Jansen spricht sogar dem Staate (abgesehen von den Universitäten) das Recht der Leitung der von ihm errichteten Schulen überhaupt ab. Bei niederen soll er diese den Kommunen übertragen, bei höheren den letzteren oder der Provinz oder beiden gemeinschaftlich p. 165. 175. 186.

<sup>2</sup> S. o. S. 574. n. 5, Jansen p. 91. 165. 187.

<sup>3</sup> Um die Geschichte des Unterrichtswesens und insbesondere des Volksunterrichtes handelt es sich hier nicht. Vgl. H. Hepp, Gesch. d. deutsch. Volksschulwesens. Gotha 1858—1860, 5 Bde. K. v. Raumer, Gesch. der Pädagogik. Stuttgart 1843 ff. 3. Aufl. 1857—1861. 4 Bde.; J. W. Karl, Ueber die alten und neuen Schulen. Mainz 1846; F. A. Specht, Geschichte d. Unterrichtswesens in Deutschland von den ältesten Zeiten bis zur Mitte des 13. Jahrhunderts. Stuttgart 1885; Schonlau, geschichtliche Notizen über Volksschulen v. 9. bis 14. Jahrh. Paderborn 1885; Daisenberger, d. Volksschulen i. d. 2. Hälfte des Mittelalters. Dillingen 1885; Fr. Cramer, Gesch. d. Erziehung u. d. Unterrichts i. d. Niederlanden während des

Mittelalters. Stralsund 1843; Joh. Müller, Vor- und frühreformatische Schulordnungen u. Schulverträge in deutscher u. niederländischer Sprache. II. Abth.: Schulordnungen a. d. J. 1296—1505. Zschoppau 1885. Einzelne Materialien auch bei Mone, Schulen d. 16. Jahrhunderts i. d. Ztschr. f. Gesch. d. Oberrheins. Karlsruhe 1850. 1, 257 ff. (Stiftsschulen); 2, 129 ff. (Stifts-, lateinische, Bürger-, Stadt- und Dorfschulen, über letztere aus d. 17. Jahrh.) u. 8, 309—318 (Bürgerschulen d. 16. u. 17. Jahrh.).

<sup>4</sup> S. o. S. 477. 478.

<sup>5</sup> S. o. S. 492 ff.

<sup>6</sup> S. 493 ff.

<sup>7</sup> S. 496 ff.

<sup>8</sup> So werden schon i. J. 1234 Pfarrschulen in Köln, Ennen, Gesch. d. Stadt Köln. Köln. u. Neuss. 1863 ff. 1, 750. 751; 1260 in Worms, Schannat hist. episcop. Wormatiensis Francof. 1784. 2, 128. erwähnt.

<sup>9</sup> In denen jetzt zum Theil auch an Laien Unterricht gegeben wurde, vgl. die Nachweisungen bei Tittmann, Gesch. Heinrichs d. Erlauchten. 2. Ausg. Leipzig 1850. 2, 73. 74.

Stiftsschulen nicht ausreichten<sup>1</sup>. Von den Stiftsschulen unterschieden sich diese neuen Anstalten nur dadurch, dass in ihnen der niedere Unterricht, d. h. Unterricht im Lesen, Schreiben und in den Anfangsgründen des Lateinischen ertheilt wurde, während den ersteren der höhere Unterricht verblieb<sup>2</sup>. In den bischöflichen Städten sind solche Schulen unter Autorität der geistlichen Behörden errichtet worden<sup>3</sup>. Die letzteren haben die Anordnungen für dieselben erlassen<sup>4</sup>, und der Scholaster des Domstiftes hat nicht nur das Aufsichtsrecht über sie geübt, sondern auch für die Regel den Lehrer, welcher aus den Erträgen des Schulgeldes besoldet wurde, bestellt<sup>5</sup>. Da andererseits die Gemeinden die Schulen aus ihren Mitteln gegründet hatten und auch zu unterhalten verpflichtet waren<sup>6</sup>, so machten sie vielfach Versuche, die Besetzung der Lehrerstellen in die Hände zu bekommen<sup>7</sup>, indessen gelang es meistens den Scholastern, welche allein die *venia docendi* zu ertheilen befugt waren<sup>8</sup>, sich im Besitze ihres Rechtes zu behaupten<sup>9</sup>. In den anderen Städten, in denen aller-

<sup>1</sup> Urk. d. Kardinallegaten Hugo an d. Bischof v. Lübeck v. 1252, Cod. dipl. Lubec. T. 1, 175: „Porrecta nobis ex parte consulum Lubicensium petitio continebat, ut cum ad scholas maioris ecclesiae propter viam lubricam et prolixam pueris ipsorum difficilis sit accessus, licentiam edificandi scholas alias iuxta forenses parochias pueris elementariis oportunas eisdem concedere dignemur“; Konzession zur Gründung e. Schule b. d. S. Magdalenenkirche in Breslau v. 1267, Korn, Breslauer Urkdbch. Breslau 1870. 1, 35: „proposuistis . . . quod pueri vestri et maxime parvuli frequentantes scholas extra muros civitatis Vratislav., dum ad easdem scholas accedunt, tum propter locorum distantiam ac passus et accessus difficiles, qui sunt in pontibus strictis et fractis super flumina, tum etiam propter multitudinem hominum, carruum et equorum per praedictos pontes et viam frequentantes et assidue trans-euntium multa incommoda sustinent, non sine magno propriarum periculo personarum“. Vgl. ferner die folgenden Anmerkungen.

<sup>2</sup> Vgl. Specht S. 240. S. auch die Citate in Anm. 4.

<sup>3</sup> S. o. Anm. 1.

<sup>4</sup> So die a. a. O. cit. Urk. v. 1267, welche bestimmt, dass in der neu errichteten Schule die kleinen Knaben das Abc, das Vaterunser, den englischen Gruss, das athanasianische Glaubensbekenntniß, die sieben Busspsalmen, den Gesang und die regulae pueriles lernen, sowie im Donat, Cato und Theodol unterrichtet werden sollen, vgl. weiter die Urk. für die Elisabethschule in Breslau v. 1293, Korn a. a. O. S. 59; für die Schule b. d. Jacobskirche in Lübeck v. 1262, Cod. dipl. Lubec. I. 1, 240. S. ferner die Satzungen des Erzbischofs Engelbert II. v. Köln v. 1270 für den Küster und Schulmeister der Pfarrkirche zu Bigge, Seibert, Urkdbch., Landes- u. Rechtsgesch. Westfalens 1, 435 über die Pflicht desselben, persönlich die Kirchspielsjugend während bestimmter Stunden im Lesen und Schreiben zu unterrichten, sowie über die Androhung von 12 Mark Strafe für die Pfarreingesessenen, welche ihre Kinder nicht in die Schule schicken.

<sup>5</sup> Bd. II. S. 101; die bischöflich bestätigte

concordia inter scholast. Hamb. et iuratos eccles. S. Nicolai v. 1289, Lappenberg, Hamburger Urkdbch. 1, 706: „Scholasticus Hamburg. . . dictas novas scholas tenebit et possidebit in sua custodia, eo iure, quo scholas apud S. Mariam dinoscitur tenuisse et magistrum instituat pro sua voluntate . . . Si vero questus et precium scholarum apud S. Nicolaum frequentantium adeo fuerit exile et tenue, quod scolasticus Hamb. sine dampno suo et salvo precio scholarum frequentantium ad S. Mariam magistrum scholis S. Nicolai non possit perficere . . . ex tunc consules taliter ordinabunt . . . ne supradictus scolasticus in magistro praeficiendo scholis S. Nicolai dampnum aliquod paciatur“.

<sup>6</sup> Dipl. v. 1262 in Cod. dipl. Lub. I. 1, 240: „de scholis antedictis edificandis vel reficiendis in posterum nihil ad scolasticum“; Beschluss d. bremischen Diöcesansynode v. 1300, Ehmeck u. v. Bippen, brem. Urkdbch. Bremen 1873. 1, 566: „quod procuratores seu provisores ecclesiarum, quibus fabrica ac structurarum reparatio sunt commisse, ad reparationem seu reedificationem scholarum earundem ecclesiarum de iure tenebuntur“.

<sup>7</sup> Specht S. 252. Vgl. weiter über diese Kämpfe G. L. v. Maurer, Gesch. d. Städteverfassung in Deutschland. Erlangen 1869 ff. 3, 61 ff. und Kriegk, deutsches Bürgerthum i. Mittelalter. N. F. Frankfurt a. M. 1871. S. 64 ff.; Meister, d. deutschen Stadtschulen u. d. Schulstreit i. Mittelalter. 1868. S. 14 ff.; Kämmerel, Gesch. des deutschen Schulwesens im Uebergang v. Mittelalter zur Neuzeit. Leipzig 1882. S. 65 ff. 126 ff.

<sup>8</sup> S. o. S. 500.

<sup>9</sup> So in Lübeck, cit. Urk. v. 1262: „ut omnis calumpniae scrupulum futuris temporibus amputetur, memoratus scolasticus cum suis successoribus omnem auctoritatem et potestatem, nullo prorsus articulo excepto vel excipiendo super singulis circumstantiis in scholis ante dictis obtinebit, quam in scholis maioris ecclesiae dinoscitur hactenus habuisse“; in Hamburg, vgl. die Anm. 5 cit. Urk. v. 1289, obwohl Martin IV. 1281 (Potthast, reg. n. 21769, Lappenberg, Hamburger Urkdbch. 1, 652) den Parochianen dieser





