DIGITAL COMMONS
@ UNIVERSITY OF SOUTH FLORIDA

University of South Florida
Digital Commons @ University of South Florida

KIP Talks and Conferences

Karst Information Portal

January 1969

5.Internationaler Kongress für Speläologie. Abhandlungen. Band 3: Sektion, Speläogenese, Höhlenbesiedelung

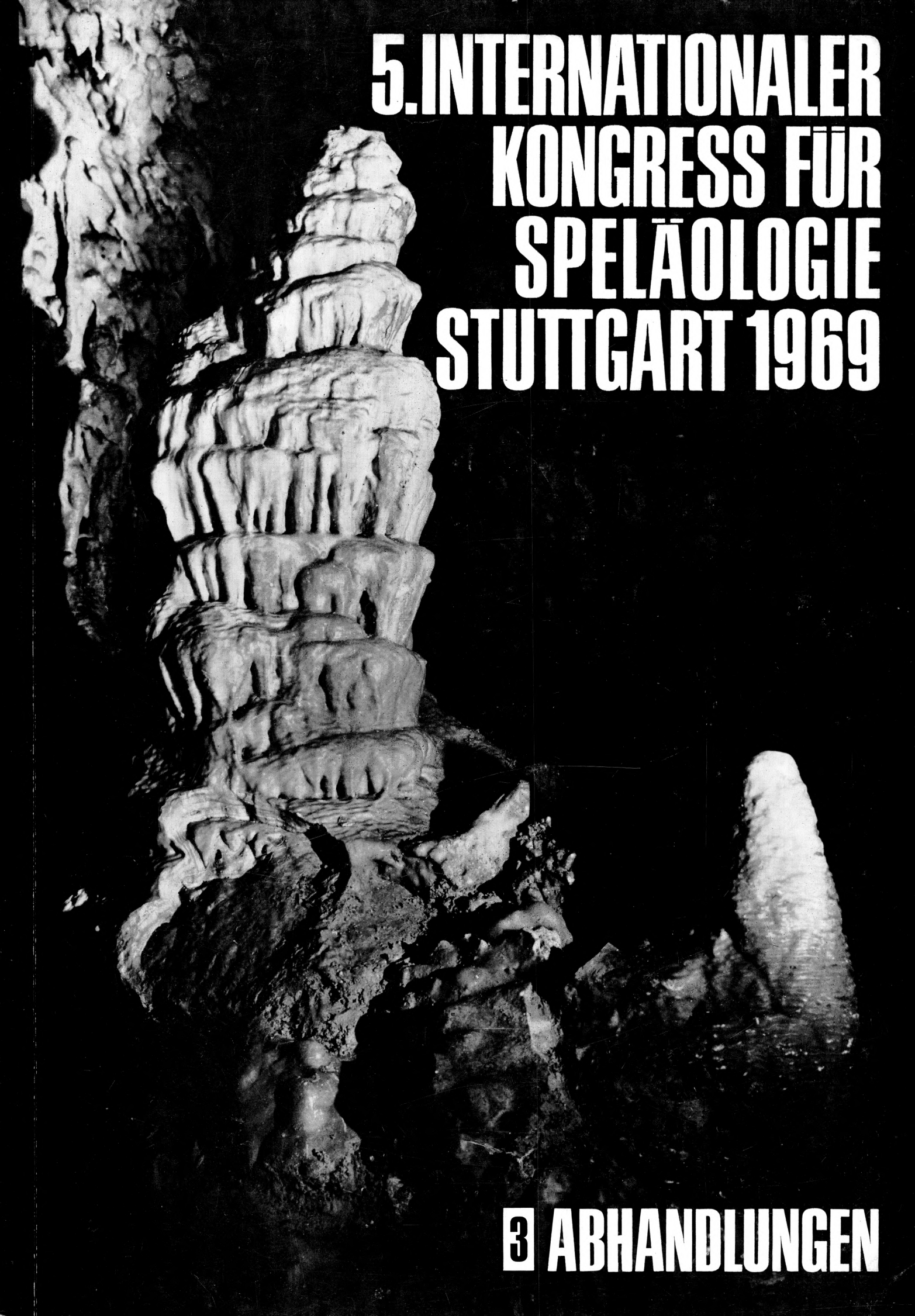
Speleological Congress International

Follow this and additional works at: https://digitalcommons.usf.edu/kip_talks

Recommended Citation

Speleological Congress International, "5.Internationaler Kongress für Speläologie. Abhandlungen. Band 3: Sektion, Speläogenese, Höhlenbesiedelung" (1969). *KIP Talks and Conferences*. 23.
https://digitalcommons.usf.edu/kip_talks/23

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.



5. INTERNATIONALER KONGRESS FÜR SPELÄOLOGIE STUTTGART 1969

3 ABHANDLUNGEN

Verband der Deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V., München

5. INTERNATIONALER KONGRESS FÜR SPELÄOLOGIE STUTTGART 1969

ABHANDLUNGEN

Sektion

Speläogenese
Höhlenbesiedelung

In Kommission bei der Fr. Mangold'schen Buchhandlung, Blaubeuren

V. Int. Kongr. Speläologie Stuttgart 1969, Abh.	Bd. 3	München 1969

Gedruckt mit Zuschüssen des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft in Bonn, des Kultusministeriums Baden-Württemberg in Stuttgart und der Vorarlberger Landesregierung in Bregenz.

Herausgeber: Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V., München. Geschäftsstelle: D 744 Nürtingen, Eschenweg 3.

Schreibarbeiten und 2. Korrektur: Übersetzungsbüro G. UPPENBRINK, D 7015 Korntal.

1. Korrektur: H. BINDER, K. E. BLEICH, K. DOBAT, F. FUCHS, A. GERSTENHAUER, O. KOEDER, D. LICHTENSTEIN, G. NAGEL, K.-H. PFEFFER, E. WARTTMANN.

Druck: ELMAR WEILER, D 7021 Musberg.

Band 3 - Speläogenese II / Höhlenbesiedelung

Inhaltsverzeichnis - Contents - Table des Matières

1. DENES, G.: Die Höhle als örtliche untere Erosionsbasis und die Entwicklung der Aggteleker Baradlahöhle S 41

2. GÁDOROS, M.: Registrierung der Lithoklasenbewegung unter den lunisolaren Einflüssen ..... S 42

3. GÁDOROS, M.: Beta- und Gamma-Aktivität in wenigen Karsthöhlen ..... S 43

4. GÁDOROS, M.: Analyse der Tagesschwankung und Jahresschwankung der Lufttemperatur in der Höhle "Vass Imre" S 44

5. FINK, M. H.: Studien über Canons in alpinen Höhlen ..... S 45

6. BERG, P.: Forschungsbericht aus dem Hochsystem des Höllochs ..... S 46

7. BLEAHU, M. D.: Über die unterirdischen Säle ..... S 47

8. Sociedade Excursionista e Espeleologica Ouro Preto: La Gruta de los Brejões - localizacion y vias de acceso S 48

9. NAGEL, G.: CO_2-Gehalte der Bodenluft in Spitzbergen - Messergebnisse und Methoden ..... S 49

10. KIRALY, L., MATHEY, B. & TRIPET, J.-P.: Fissuration et orientation des cavités souterraines. Région de la grotte Milandre (Jura tabulaire) ..... S 51

11. DELBROUCK, R.: De l'influences des acides humiques sur la corrosion des roches calcaires ... S 52

12. OEDL, R.: Konkretionen und Wassermarken in der Eisriesenwelt im Tennengebirge und in den Dachsteinhöhlen ..... S 54

13. MISEREZ, J.-J.: Utilisation d'une électrode spéciale pour la mesure de P CO_2 dans les eaux et l'atmosphère - Application à l'étude des phénomènes karstiques du Jura suisse ..... S 55

14. HABE, F.: Eis- und Schneehöhlen in Jugoslawien und ihre Verbreitung ..... S 56

15. RODA, S.: Das Speläolabor Gombasek ..... S 58

1. MALEZ, M.: Šandalja bei Pula - eine bedeutende Ansiedlung der jungpaläolithischen Jäger in Istrien .. H 1

2. BARTA, J.: Die Grundaspekte der urgeschichtlichen Höhlenbesiedlung in der Slowakei ..... H 2

3. WIDMER, J.-P.: La maison des premiers hommes ..... H 3

4. DEWEZ, M. C.: Revision des successions chronologiques observées à la Grotte de Spy, Belgique ..... H 4

5. TRATMAN, E. K.: Caves Occupied during the Prehistoric Iron Age in the Mendip Hills, Somerset, England .... H 5

6. PETROCHILOS, A. J.: Gravures et peintures rupestres de l'homme primitif dans les grottes helléniques ..... H 6

7. GEMÜND, H.: Höhle und Karst in der Mythologie der Hellenen ..... H 7

8. PETROCHILOS, A. J.: Gravures néolithiques sur l'île de Naxos, Cyclades ..... H 8

9. DE URIBARI ANGULO, J. L.: Las pintas rupestres de Ojo Guarena, Burgos, Espana ..... H 9

10. BENTINI, L. & BIONDI, P. P.: La grotta preistorica di Capriles nel Supramonte di Orgosolo, Sardegna Centro-Orientale ..... H 10

11. MOSER, M.: Über den Stand der archäologischen Forschungen in Schachthöhlen Deutschlands unter Berücksichtigung ausländischer Parallelfundstellen ..... H 11

Die Höhle als örtliche untere Erosionsbasis und die Entwicklung der Aggteleker Baradlahöhle

GYÖRGY DÉNES (Budapest / Ungarn)

Die geräumigen Flusshöhlen verhalten sich hydrologisch wie Wasserläufe in offenen Betten. Sie sind eigentlich durch Karsterosionstätigkeit entstandene überwölbte Täler, die aus dem Gesichtspunkt der Karsterosion mit den gewöhnlichen offenen Tälern gleichwertig sind, sie können also für ihre Umgebung als örtliche untere Erosionsbasis dienen.

Diese geräumigen Flusshöhlen ziehen die absinkenden Karstwässer, die früher in Richtung ferner liegender Täler oder höher liegender Höhlen einen oberflächigen bzw. unterirdischen Abfluss fanden, zu sich. Somit können die entstandenen Flusshöhlen ober- oder unterirdische Wasserläufe anzapfen (dekaptieren) und so auch die früheren hydrographischen Zusammenhänge ändern.

Wenn sich also die Bedingungen der Entstehung eines Ponors in der Nähe einer Flusshöhle entwickeln, zieht das in die Tiefe dringende Wasser nicht in das ferner liegende Tal, sondern in die näher liegende Flusshöhle. So entwickelt sich eine neue obere Strecke des Hauptganges (Abb. 1-2), oder es entwickelt sich ein Seitenarm der schon früher ausgebildeten Flusshöhle (Abb. 3-4)- Ein grösserer Seitengang kann selbst zur örtlichen unteren Erosionsbasis der weiteren Karsterosion werden. Oft entstehen so von Strecke zu Strecke die Hauptgänge und dann auch die Seitenarme der grossen Höhlensysteme.

So entwickelte sich auch die 23 km lange Aggteleker Baradlahöhle in Ungarn. Dieses mächtige Höhlensystem bildete sich in einem früher mit pliozänem Ton bedeckten Trias-Kalksteinplateau aus vom Ende des Pliozäns durch das Pleistozän bis auf den heutigen Tag.

Das ganze Gebiet in der Gegend von Aggtelek war am Ende des Tertiärs mit einer wasserundurchlässigen, mit Quarzkieseln durchsetzten Tonschicht bedeckt. Auf der Oberfläche dieser wasserdichten Tondecke flossen die Wasserläufe ab. Die Erosion der oberirdischen Wasserläufe schnitt zuerst das Tal des Jósvaflusses ein, dann entfernte sie fortschreitend die wasserundurchlässige Tondecke des Kalksteinplateaus. So entstand am Rande der Tondecke, an der Grenze der Karstoberfläche, ein Ponor und entwickelte sich ein Höhlengang, eine Flusshöhlenstrecke. Das ist der gegenwärtige Endteil des Höhlensystems Baradla, bei dem Jósvatal. Diese primäre Höhlenstrecke führte das - von der Oberfläche durch den Ponor eindringende - Wasser in die Ur-Jósvaquelle ab. Dann entfernten die oberflächigen Wasserläufe die undurchlässige Tondecke des Kalksteinplateaus fortschreitend weiter und weiter, und so wurde immer die früher entstandene Flusshöhlenstrecke die örtliche untere Erosionsbasis der nacheinander entstandenen neueren Ponore, während die früheren, ohne Wasser gebliebenen Ponore durch Terra rossa ausgefüllt wurden. Heute finden wir an den Stellen der ehemaligen Ponore mit Terra rossa gefüllte Dolinen, Dolinenreihen und Dolinenseen. So vergrösserte, verlängerte sich schrittweise der Hauptgang des Höhlensystems und nach der weitergehenden Entfernung der Tondecke wuchsen auch die Seitenarme weiter. Auf der beigelegten vereinfachten Skizze des Höhlensystems sehen wir diesen Entwicklungsprozess.

Die ganze Entwicklung des mächtigen Höhlensystems Baradla war natürlich ein viel komplizierterer Vorgang, als das durch die Skizze dargestellt werden kann, da diese nur das Wesen des Prozesses in vereinfachter Form zu charakterisieren sucht. Die wasserundurchlässige Tondecke wurde in der Natur durch Erosion mit [illegible] der angegebenen Regelmässigkeit entfernt und die Karstgrenze zog sich dementsprechend nicht so gleichmässig zurück; an ihrer Grenzlinie entwickelten sich vielerorts Ponore und die in diesen versunkenen Wasserläufe bildeten wahrscheinlich mehrere kleine Höhlen aus, die eigene Quellen im Kecsó-Jósva-Tal hatten. Infolge der weiteren Denudation verlor ein Teil dieser kleineren Höhlen den Wassernachschub und diese wurden durch Terra rossa ausgefüllt und ihre einstigen Ponore werden jetzt durch Dolinen angedeutet. Nur solche Höhlen bzw. Höhlenabschnitte blieben unverschüttet, die von der wasserdichten Oberfläche weiterhin regelmässig eine Wasserzufuhr erhielten. Es ist möglich, dass in einem früheren Entwicklungsstadium die Aggteleker und Jósvafőer Abschnitte der Baradlahöhle ursprünglich voneinander unabhängige, selbstständige Höhlen darstellten, die nur infolge einer in westlicher Richtung erfolgten mehrmaligen Verlängerung des Höhlenabschnittes von Jósvafő verknüpft wurden. Hier möchte ich mich aber nicht in die Analyse dieser Probleme tiefer einlassen, da ihre Lösung noch einer weiteren langwierigen und mühevollen Forschungsarbeit bedarf.

Aber auch ein solcher kurzer Überblick hilft uns dazu, einen wesentlichen Fakter des Mechanismus des Entwicklungsprozesses zu verstehen. In diesem Prozess spielt die Flusshöhle die Rolle einer örtlichen unteren Erosionsbasis. Diese Erkenntnis ermöglicht uns, wie wir das im konkreten Beispiel gesehen haben, den in den früheren geologischen Zeiten abgelaufenen Vorgängen näher zu kommen und die paläogeographischen Verhältnisse besser zu verstehen.

Literatur

CHOLNOKY, Jenő — A barlangok és a folyóvölgyek összefüggése. Barlangvilág. II. 1-2. pp. 3-10. Budapest, 1932

CHOLNOKY, Jenő — Az Aggteleki Baradla-cseppkőbarlang története. Egen, Földön. Franklin Társulat pp. 113-124, Budapest

CHOLNOKY, Jenő — A barlangokról (A karsztjelenségek). A Természettudományok Elemei 15. Természettudományi Társulat, Budapest, 1944

CVIJIC, Jovan — La géographie des terrains calcaires. Académie Serbe des Siences et des Arts, CCCXLI, Beograd, 1960

DUDICH, Endre — Az Aggteleki cseppkőbarlang és környéke. Népszerü Természettudományi Könyvtár 12, Temészettudományi Társulat, Budapest, 1932

GWOZDETZKIJ, N. A. — Karst. Geographgiz, Moskva, 1954

JAKUCS, László — Adatok az Aggteleki-hegység és barlangjainak morfogenetikájához. Földrajzi Közlemények, IV. (LXXX.) 1. pp. 25-38, Budapest, 1956

KESSLER, Hubert — Az aggteleki barlangrendszer hidrográfiája. Földrajzi Közlemények, LXVI. 1-3. pp. 1-30. Budapest, 1938

LÁNG, Sándor — Geomorfológiai tanulmányok az aggteleki karsztvidéken. Földrajzi Ertesitő, IV. 1. pp. 1-20. Budapest, 1955

TRIMMEL, Hubert — Höhlenkunde. Friedr. Vieweg et Sohn, Braunschweig, 1968

Diskussion:

AUB (Arhus):

In welcher Richtung fallen die Schichten?

DÉNES: Nach Norden

LÁNG (Budapest):

Die Resultate von Dr. Dénes sind sehr wichtig, sehr deutlich und beweisbar über die Entwicklung des Aggteleker Höhlensystems in Ungarn. 1. Es ist eine Tatsache, dass das ganze Gebiet mit Sand und Kies überdeckt war. 2. Es ist auch anzunehmen, dass ursprünglich die beiden Höhlensysteme von Aggtelek und Jósvafő selbstständig waren, weil sich nämlich die grossen Höhlenräume bei Aggtelek und bei Jósvafő häufen, die dazwischen liegenden Strecken dagegen weit weniger grosse Räume aufweisen. 3. Auch die mächtigsten Tropfsteingruppen beschränken sich praktisch auf die eben erwähnten Endstrecken der Höhlensysteme. Geomorphologisch gesehen, meine ich, haben wir hier ein sehr schönes Beispiel für eine Karstflussregression.

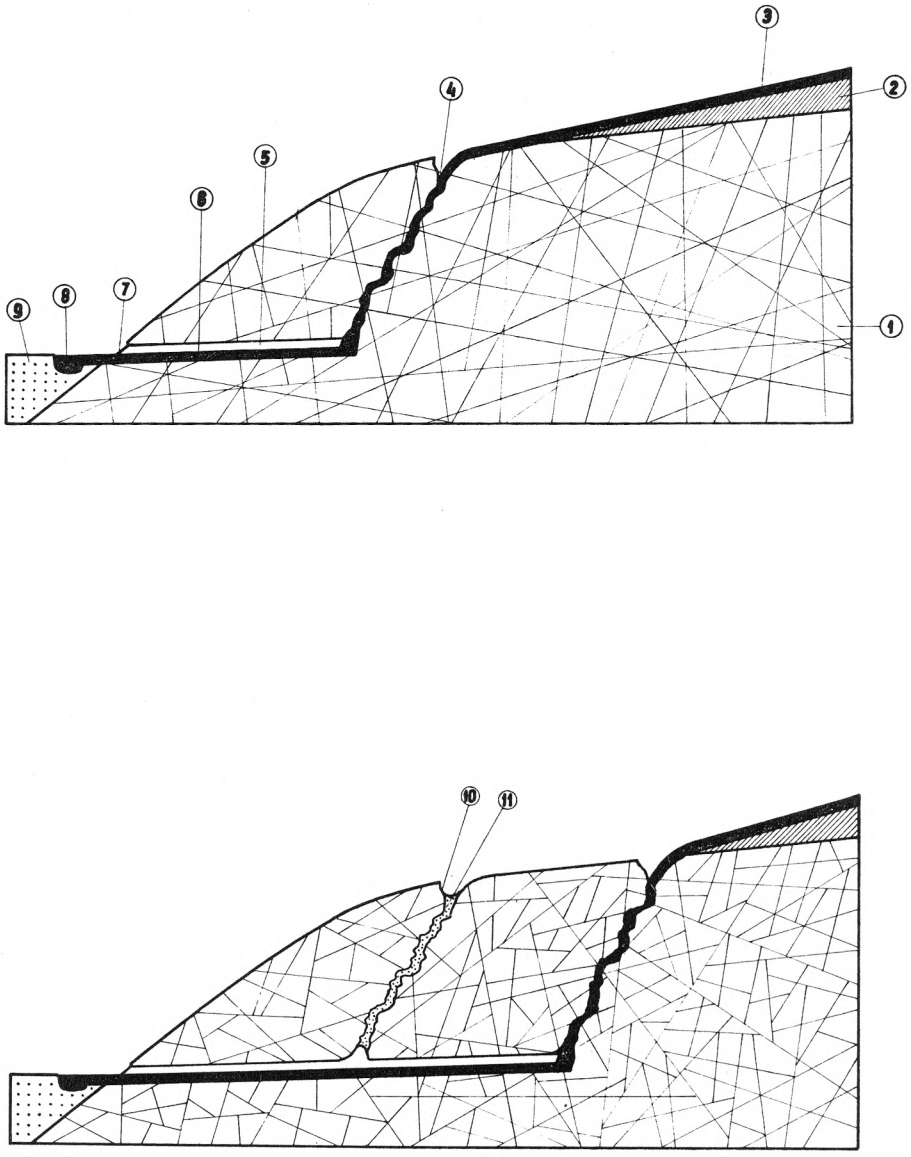
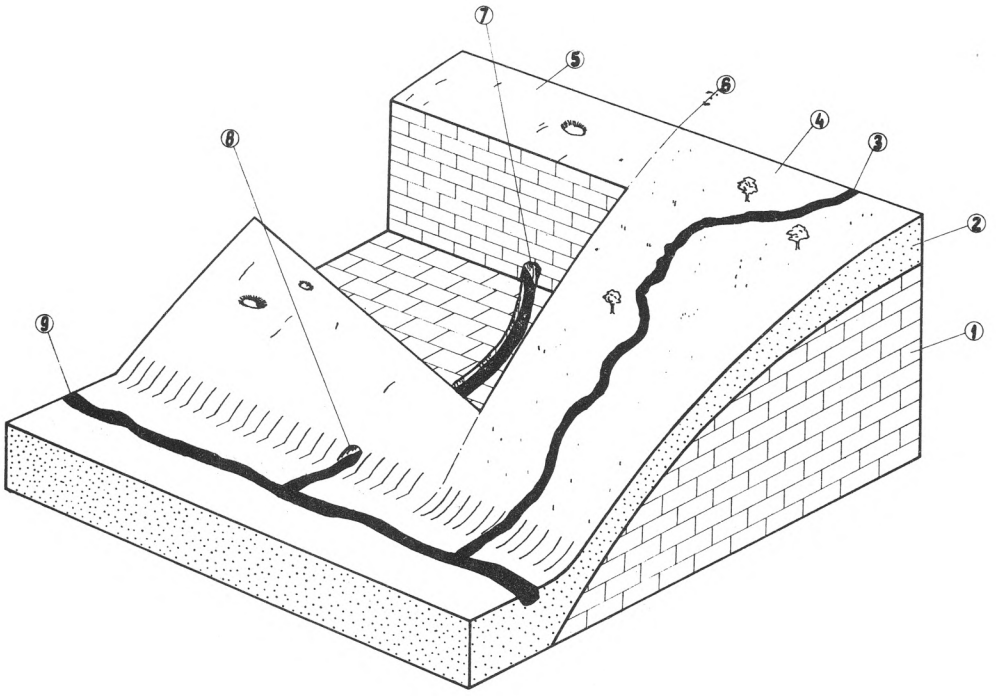


Abb. 1-2: 1.Kalkstein, 2.wasserundurchlässige Decke, 3.oberflächiger Wasserlauf, 4. Ponor, 5.Flußhöhle, 6.Höhlenfluß, 7. Quelle, 8. Fluß am Fusse des Kalksteinberges, 9.Talsohle, 10. Doline, die sich an Stelle eines früheren Ponors bildete, 11. Ablagerung, die die frühere Ponorhöhle ausgefüllt hat.



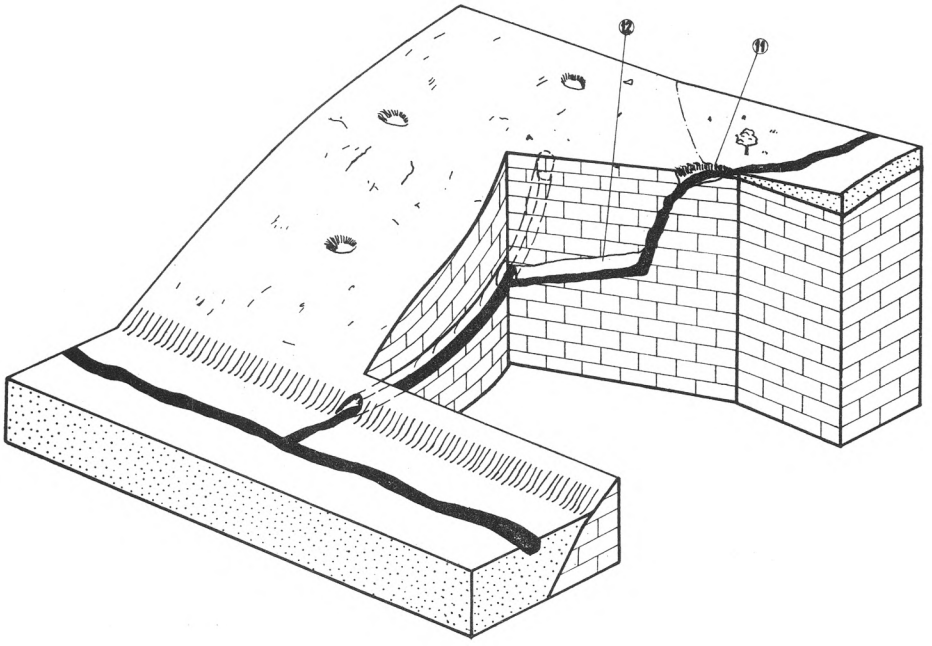


Abb. 3 - 4: 1.Kalkstein, 2. wasserundurchlässige Decke, 3.oberflächiger Wasserlauf, 4. nichtkarstige Oberfläche auf der wasserdichten Decke, 5.karstige Oberfläche am unbedeckten Kalkstein, 6.Grenze der karstigen und nichtkarstigen Oberfläche, 7.Flußhöhle im Karst, 8.Quelle am Fusse des Berges, 9.Fluß im Tal, 9.Fluß im Tal, 11.neuer Ponor, der sich infolge der Entfernung der wasserundurchlässigen Decke gebildet hat, 12. neuer Seitenarm der Flußhöhle.

Abb.5: Skizzenhaftes Bild der Baradlahöhle und der umgebenden Oberfläche.

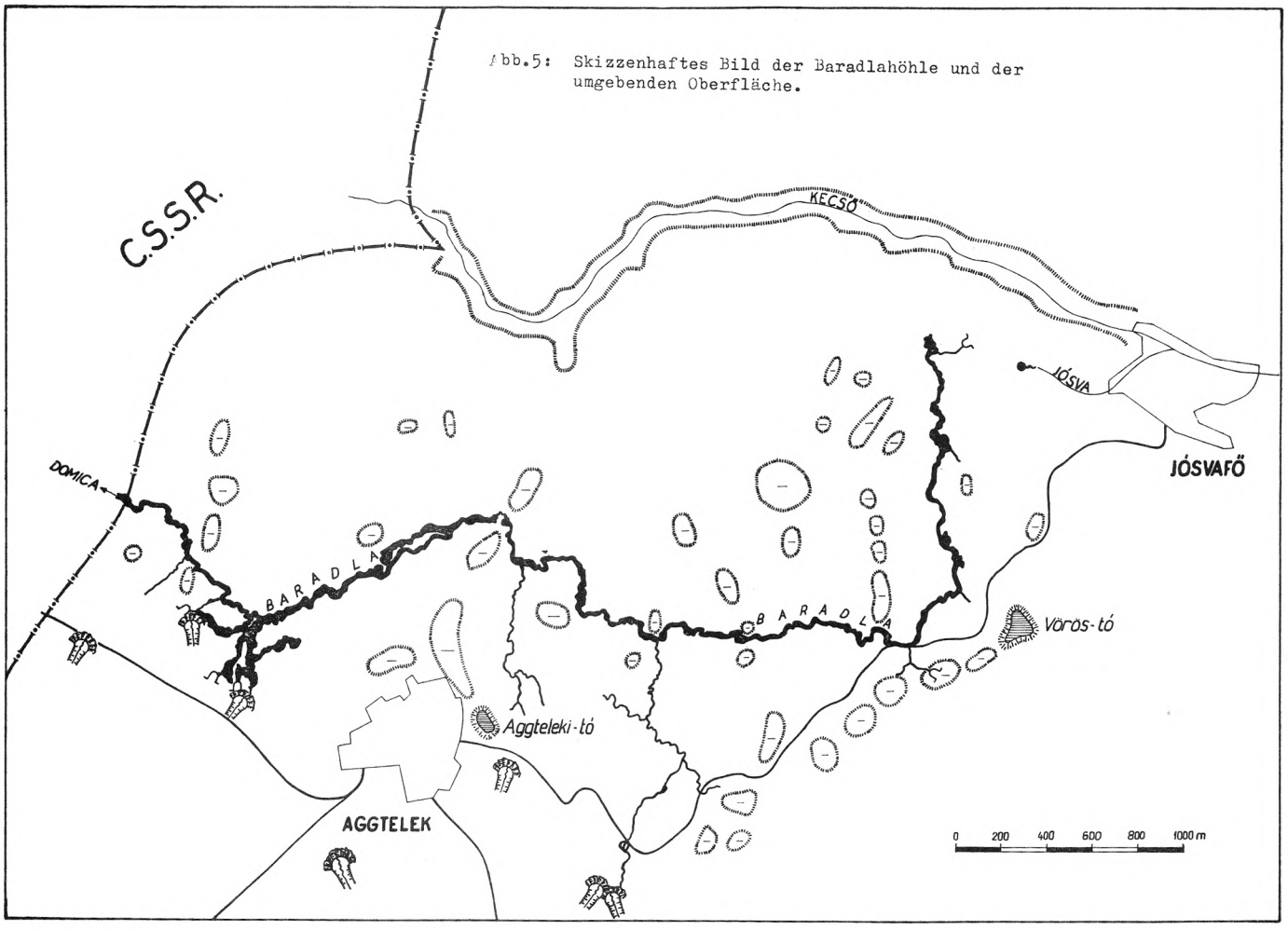
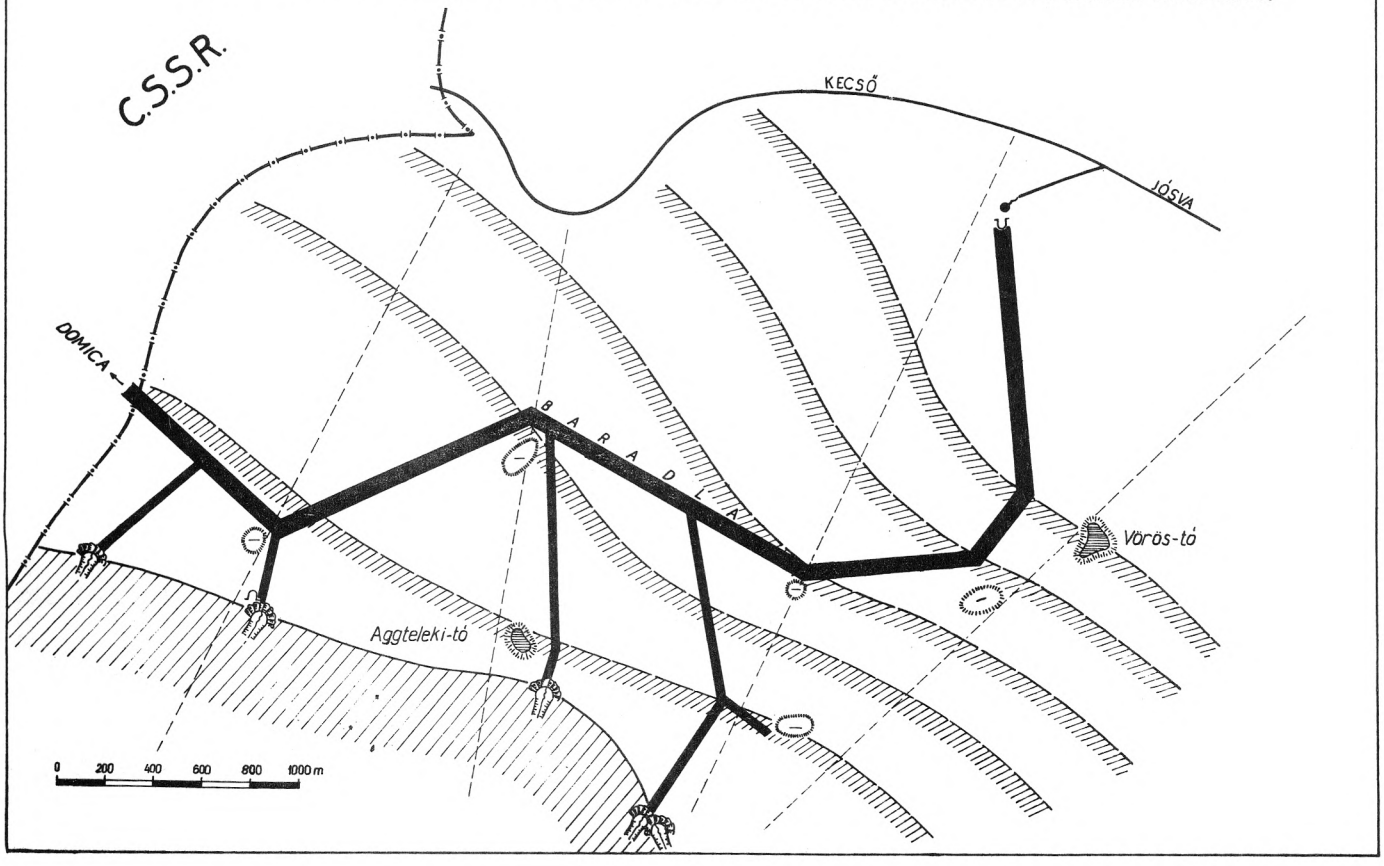


Abb.6: Vereinfachte Skizze der Entwicklung der Baradlahöhle. Die schraffierte Fläche bezeichnet die wasserundurchlässige Tondecke, die schraffierten Streifen zeigen die früheren Grenzlinien der stufenweise entfernten wasserdichten Decke an. An der jetzigen Grenze der wasserundurchlässigen Decke gibt es auch heute funktionierende Ponore, die einstigen Karstgrenzen werden durch die an den Stellen der verstopften Ponore entwickelten Dolinen und Dolinenseen bezeichnet.



Registrierung der Lithoklasenbewegung unter den lunisolaren Einflüssen

MIKLOS GADOROS (Speläologische Forschungsstation, Jósvafo / Budapest / Ungarn)

Summary:

At the main joints of the Vass Imre Cave the seismic movements first were registered by a mechanic implement. Later on an electric tel-registration-implement was developed. With this implement the registration was continued.

Im Aggteleker-Jósvafőer Gebiet richtete die statistische Analyse der Zeitpunkte, wann die Saugheberausbrüche der Nagytohonya und Lófej-Quelle beginnen, die Aufmerksamkeit zum erstenmal auf die Ebbe-Flut-Wellen des Karstwasserspiegels. L. MAUCHA bearbeitete im Jahre 1965 die Verteilung dieser Zeitpunkte statistisch, und er stellte fest, daß die Häufigkeit um 6, 12, 18 und 24 Uhr ein signifikantes Maximum hat. Die Beobachtung und Bearbeitung wurden natürlich fortgesetzt, und es ist gelungen, nicht nur diese statistischen Ergebnisse weiter zu bestätigen, sondern auch in den Ruheperioden des Saughebers die Ebbe-Flut-Wellen der Wasserschüttung zu beobachten. Es scheint, daß lunisolare Einflüsse mittelbar, durch die Gezeitenbewegung der Erdkruste, auf das Karstwasser wirken. Zur Bestätigung dieser Voraussetzung fühlten wir uns veranlasst, die Gesteinsbewegungen bei Lithoklasen unmittelbar zu untersuchen.

Erste Messung

Zum erstenmal im Jahre 1966 führten wir Messungen mittels mechanischer Messgeräte durch, um die Größenordnung der Bewegungen festzustellen. Im N-S Hauptgang der Vass Imre Höhle haben wir einen Meßstand mit drei 0,001-mm-Indikatoruhren (für N-S, W-O und vertikaler Richtung) aufgestellt. Die Indikatoruhren vom 17.08.66, 18 h, bis 24.08.66, 8 h, wurden alle 10 Minuten abgelesen. Wir haben 11 Kontraktionswellen mit einer durchschnittlichen Größe von 2,4 Mikrometer beobachtet. Wir fanden keine wesentliche Bewegung nach der Ganglänge (N-S-Verschiebung), und eine vertikale Verschiebung nur in einem Fall, beim Eintreffen der Erdbebenwelle aus der Türkei (20.08.66, 22-24 Uhr). Alle Bewegungen waren reversibel, ausgenommen diese vertikale Verschiebung, die sich als irreversibel erwies.

Konstruktion des Registriergeräts

Die Messungen bewiesen, daß die Lithoklasenbewegungen wirklich existieren, so bekamen wir die Grundangaben zur Konstruktion eines Registriergerätes.

Die Anlage misst die Bewegungen an demselben Ort, wo die erste Beobachtung durchgeführt wurde. Die Messanlage meldet die Bewegung durch Kabelleitung ins Laboratorium der Forschungsstation. Die Spezialanforderungen des unterirdischen Betriebs sollte man bei der Entwicklung weitgehend berücksichtigen.

Unterirdischer Teil

Die Messumformer sind 3 Flachkondensatoren. Eine Schraubenanlage mit Differentialwindungen gehört zu jedem einzelnen Messkondensator für die Feineinstellung des Plattenabstandes. Eine Umdrehung der Einstellscheibe entspricht einer Abstandsänderung von 50 Mikron. Die 3 Messkondensatoren und der ständige Kontrollkondensator werden durch die Schaltanlage zu einem hochstabilen Oscillator nach Clapp gelegt. Die mittlere Nennfrequenz ist 14.950 MHz; 10 kHz Frequenzänderung bedeutet die Verschiebung von 1 Mikron (10^{-6}m).

Stahlrohre übertragen die Bewegung von der westlichen bzw. östlichen Wand der Höhle zu den Messkondensatoren. Der Messkopf (Kondensatoren und Oscillator) ist in einem Raum, der gegen das Höhlenklima mittels Öl isoliert ist, untergebracht.

Das Signal des Messkopfes um 14,95 MHz wird mit dem Signal des Quarzoscillators mit der Frequenz von 15,000 MHz gemischt. Nach einem Tiefpass bekommen wir die Unterschiedsfrequenz mit einem Nennwert von 50 kHz. Diese Frequenz von 0 ... 100 kHz geht durch das Kabel zur Oberfläche.

Durch die Überlagerung bekommen wir eine Vergrösserung: die Verschiebung gegen 1 Mikron ruft die Änderung des Messfrequenz um 0,07 % hervor; nach der Überlagerung beträgt diese Änderung 20 %.

Teil im Laboratorium

Im Laboratorium der Forschungsstation misst ein direktanzeigender Frequenzmesser und ein Fallbügelschreiber registriert die Meldefrequenz. Der Kondensatorumschalter in der Höhle wird gleichzeitig mit dem Farbwechsel des Schreibers gesteuert.

Der unterirdische Teil wird aus dem Laboratorium durch eine Kabelleitung mit stabilisiertem Strom von 80 mA gespeist. Bei Messkopf wird 24 V Gleichspannung mittels Zenerdioden erzeugt; so sind die Störeffekte bei der Speicherleitung ganz eliminiert.

Die Kennwerte

der Anlage sind:

Entfernung vom Höhleneingang bis zur Messtelle	ung. 180 m
Entfernung von der Messtelle bis zum Registriergerät	ung. 5oo m
Jahresschwankung der Temperatur an der Messtelle	0,2 ... 2 °C
Nennkapazität des Messkondensators	17 pF
Plattenabstand	1 mm
Nennfrequenz des Messoscillators	14,950 MHz
Frequenz des Überlagerungsoszillators	15,000 MHz
Empfindlichkeit (Frequenzänderung)	1 Mikron ≙ 10 kHz
Fernmeldefrequenz	0 ... 100 kHz
Schreibempfindlichkeit	1 kHz/mm ≙ 10^{-7} m/mm
Vergrösserung	10.000:1
Punktfolge	20 Sek.
Streifengeschwindigkeit	20 mm/Std.

Messergebnisse

Es wurden viele Kontraktionswellen von ähnlichem Charakter registriert, wie sie bei der ersten Messung beschrieben wurden. Es sei ein Beispiel von 24 Stunden vorgelegt (vgl. Abb. 3).

Über die anderen Messgeräte

Es wurden schon viele Messgeräte, sogenannte Strainseisometer aufgestellt, am meisten in Japan und Amerika. Diese Geräte messen die elastische Deformation der Kruste, dagegen die Jósvafoer Einrichtung misst die Bewegung bei einer Lithoklase, also an der Grenze zweier verschiedener tektonischer Einheiten. Das ist in physikalischer Hinsicht ein grosser Unterschied.

Zusammenfassung

Es wurden die Erdbewegungen bei Hauptlithoklasen der Vass Imre Höhle erstens mittels eines mechanischen Messgerätes beobachtet, dann wurde eine elektrische Fernregistrieranlage entwickelt und durch sie die Beobachtung fortgesetzt.

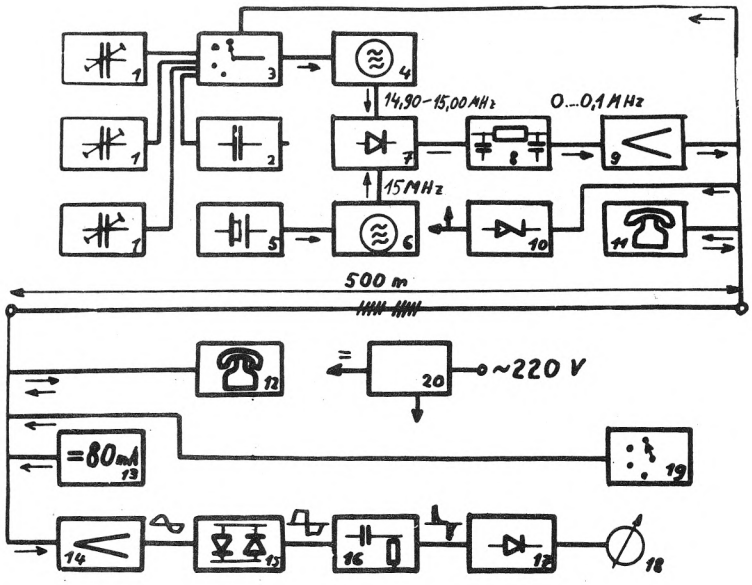


Abb.1: Skizze des Messkopfes mit der Schutzdecke

1. Westwand der Höhle
2. Stahlrohr
3. Bügel
4. Ölhalter
5. Schutzdecke
6. Messkopf
7. Öl
8. Konsole
9. Ostwand der Höhle

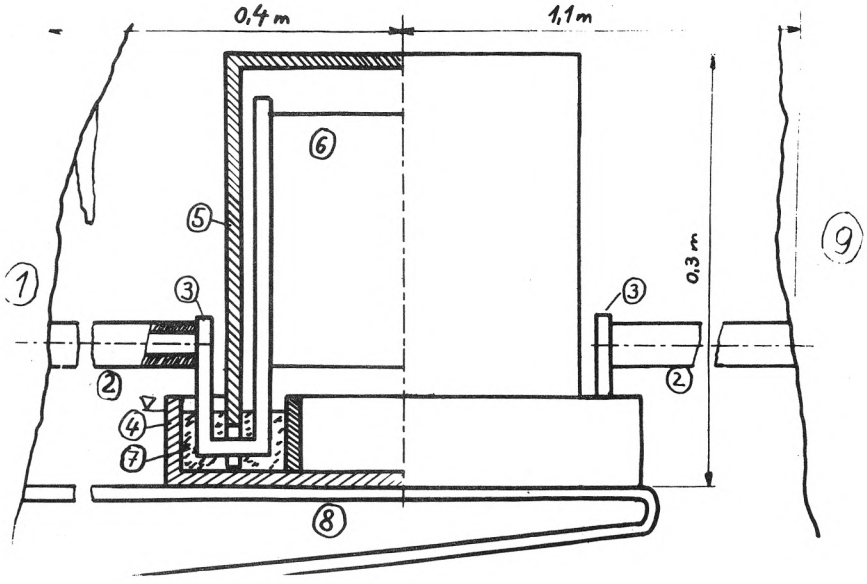


Abb.2: Blockschaltbild der Messanlage

1. Messkondensator
2. Kontrollkondensator
3. Umschalter
4. Messoszillator
5. Steuerquarz
6. Überlagerungsoszillator
7. Mischstufe
8. Tiefpass
9. Verstärker
10. Gleichspannungshalter
11. Fernsprecher
12. Fernsprecher
13. Gleichstromhalter für Fernspeicherung
14. Verstärker
15. Begrenzer
16. Differenzierung
17. Messgleichrichter
18. Fallbügelschreiber
19. Steuergerät des Umschalters 3
20. Speichergerät

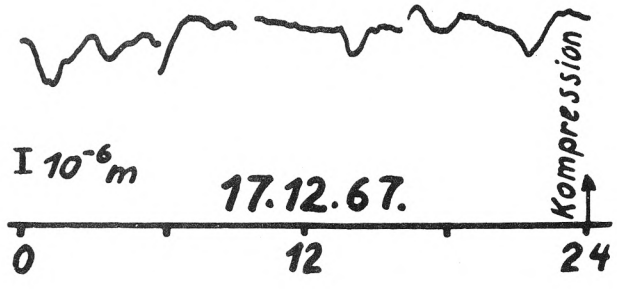


Abb.3: Bewegungen am 17.12.1967 (Vollmond)

Literatur:

L. Hiersemann — Fortlaufende Aufzeichnung von Bodenbewegungen durch ein Strainseismometer. Freiberger Forschungshefte C 135. Akad. Verl. Berlin, 1962

L. Maucha — Ausweis der Gezeiten-Erscheinungen des Karstwasserspiegels. Karszt- és Barlangkutatás V. 1963-1967. Budapest, 1968

Beta- und Gamma-Aktivität in wenigen Karsthöhlen

MIKLÓS GÁDOROS (Budapest / Ungarn)

Summary:

According to the studies made in 8 caves of three areas, the gauge of radioactive radiation lies between 0.5 to 2.5 times the gauge of "background activity". The caves with well-streaming winds have a low gauge, yet in caves without winds the radioactive material is cumulated. In humid caves the radioactive material most certainly is part of the aerosol.

Zusammenfassung:

Nach den Untersuchungen, die in 8 Höhlen der drei Gebirge durchgeführt wurden, lag der radioaktive Strahlungspegel zwischen dem 0,5 - 2,5-fachen der Hintergrundaktivität. Die gut durchlüfteten Höhlen haben einen niedrigen Pegel, dagegen sind die radioaktiven Stoffe in der Luft der zuglosen Höhlen kumuliert. In den feuchten Höhlen sind die radioaktiven Stoffe sehr wahrscheinlich mit dem Aerosol verbunden.

Eine interessante Frage der Speläologie ist, ob sich in den Höhlen eine wesentliche Radioaktivität befindet oder nicht; jedoch wissen wir darüber zu wenig. Um Kenntnisse zu sammeln, wurden im April, Juni und Juli 1966 Vergleichsmessungen über Höhlen-Radioaktivität in verschiedenen Karstgebieten durchgeführt.

Messgerät und Messstellen

Ich habe die Messungen in 8 Höhlen durchgeführt, in Buda (2), im Pilis Gebirge (3) und im Aggteleker Höhlengebiet (3). Die drei im Aggteleker Gebiet waren Flusshöhlen, die anderen 5 Labyrinthhöhlen. Alle befinden sich im Trias-Kalkstein.

Das Messgerät, das zur Verfügung stand, war ein tragbares Rateмeter mit einem Messkopf von 4 parallelgeschalteten GM-Zählröhren. Die Zählröhren waren sowjetische vom Typ CTC 6 (STS 6), mit der Wandstärke von etwa 7o mg/cm^2. Es wurde also die Beta-Teilchen gezählt, die eine Energie über 270 keV hatten (z.B. RaE). Der Messkopf mit einer Absorptionsplatte zählt die Gamma- oder die Beta + Gamma-Strahlen.

Ohne Isotopen-Präparat konnte ich nicht die absoluten Aktivitätswerte im mRtg/Stunde ermitteln, ich musste aber in jedem Falle die unterirdischen Messangaben mit der Hintergrundstrahlung, die in der Nähe des Eingangs gemessen wurde, vergleichen.

Im ersten Teil wurde der allgemeine Strahlungspegel gemessen; wenn die Strahlung ungewöhnlich stark war, wurde die Strahlungsquelle untersucht. Es wurde die Aktivität der Luft, des Muttergesteins, der Sedimente und Tropfsteine gemessen.

Messangaben

Die Hintergrundaktivitätswerte bei verschiedenen Messstellen weichen im Verhältnis 1:2,5 ab. Der Unterschied war ziemlich gut reproduzierbar.

Das Verhältnis der grössten unterirdischen Beta + Gamme-Aktivität war 0,5-mal schwächer, die grössere 2,5-mal stärker als der Hintergrund beim entsprechenden Eingang.

Wenn es gelungen ist, auch bloss die Gamma-Aktivität zu messen, verringerte sich ihr Pegel in den inneren Höhlenstrecken auf 1/2 - 1/3 des Oberflächenhintergrunds.

Die Beta + Gamma-Strahlungsstärke erreichte nie den Pegel, den ich in der Nähe des leuchtenden Zifferblattes meiner Armbanduhr messen konnte.

Beobachtungen

Es ist gelungen, den klaren Zusammenhang zwischen der Aktivität und den morphologischen-klimatologischen Verhältnissen nachzuweisen.

Die Minimalwerte wurden in jedem Falle in Höhlenstrecken, die gut durchgelüftet sind, gemessen. An diesen Stellen weicht die Gamma- und Beta + Gamma-Aktivität kaum ab, also der Pegel der Beta-Strahlung ist sehr niedrig; die Gamma-Strahlung vermindert sich je nach der Abschirmung durch die Gesteine, die über der Höhle liegen.

Die Maximalwerte wurden in luftbewegungsfreien Höhlenstrecken oder in Nebensälen beobachtet; in statischen Höhlen fand ich nach einer Minimalaktivität mit relativem Wert 0,8 - 1 in der Eingangsstrecke bis zum Höhlenende steigende Aktivität.

Beim Fortgehen von Orten, wo grössere Aktivität festzustellen war, zeigte das Messgerät im allgemeinen eine bedeutende Hysteresis; nach Besichtigung der statischen Höhlen zählte das Gerät an der Oberfläche 10 - 20 Minuten lang eine höhere Aktivität (in einem Falle eine zweimal grössere) als der Hintergrund. (Infolge dieser Hysteresiserscheinung an solchen Stellen gelang es nicht, bloss die Gamma-Strahlung gut zu messen.) Die Ursache dieser Erscheinung kann weder eine Durchfeuchtung noch andere Beschädigung des Messgeräts sein, weil diese Möglichkeiten durch Kontrollmessungen ausgeschlossen wurden.

In den Höhlenstrecken, in denen die Strahlung stärker als der Hintergrund an der Oberfläche war, zeigte immer die Luft die grösste Aktivität. In der Nähe des Gesteins, der Sedimente oder Tropfsteine nahm der Strahlungspegel ab.

Diskussion

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, dass in den besichtigten Karsthöhlen sich Beta-strahlende radioaktive Stoffe befinden. Diese Stoffe können in lüftungsarmen Höhlenstrecken bzw. in statischen Höhlen vermehrt angetroffen werden. Die Kumulation findet meistens in der Luft statt; in den beobachteten Höhlen zeigt die feste Phase (Gesteine, usw.) immer eine geringere Aktivität als die Luft.

Die wahrscheinliche Ursache der beschriebenen Hysteresis kann sein, dass in feuchten Höhlen die radioaktiven Stoffe mehr oder weniger im Aerosol gelöst sind, und diese aktiven Aerosol-Teilchen am Messkopf kleben können.

Die gemessenen Aktivitätspegel waren sehr niedrig, sie überschritten die dreifahce Grösse der Hintergrundsaktivität nicht. Jedoch, wenn sich die Voraussetzung über die im Aerosol gelösten oder absorbtierten radioaktiven Stoffe bestätigt, so kann die Strahlenbelastung der Lungen das vielfache des gemessenen Pegels betragen.

Es sind weitere Untersuchungen sowohl über die Strahlung, als auch über den Kumulationsmechanismus durchzuführen.

Diskussion:

GEYH (Hannover): Eine Messanordnung zur Bestimmung von Beta- und Gamma-Aktivitäten, die mit GM-Zählrohren von 70 mg/cm^2 Kathodendichte aufgebaut ist, erlaubt nicht den Nachweis von Radon, das als α-Strahler wesentlich kleinere Reichweiten hat. Für diese Zwecke eignen sich Emanometer (Ionisationskammern).

Zur normalerweise festgestellten Abnahme der Aktivität mit wachsender Entfernung des Messgeräts vom Höhleneingang soll gesagt werden, dass dafür vermutlich die Absorption der kosmischen Strahlung durch die Höhlendecken verantwortlich gemacht werden muss.
Beta- und Gamma-Zählrohren haben einen Nulleffekt, der mit von der Höhlenstrahlung bestimmt wird.

Eine Entstehung für die Nulleffektshysteresis in speziellen Höhlen könnten das Vorhandensein von thoriumhaltigen Mineralien sein, die Isotope mit Halbwertszeiten besitzen, die im Minutenbereich liegen und mit demEdelgas Thoron in der Höhlenluft liegen könnten.

GÁDOROS: a. Diese Messanordnungen erlauben den direkten Nachweis von Radon wirklich nicht; das Referat beschäftigt sich nicht mit dem Nachweis von Radon. Jedoch eine erhöhte Beta-Aktivität in der Luft kann den Verdacht auf das Vorhandensein von Radon, Thoron oder Aktinon begründen, weil die Beta-strahlenden Isotopen nur mit einem Edelgas (als Zerfallsprodukt) in die Höhlenluft gelangen können, wenn der Staub inaktiv ist.

b. Jawohl, diese Abnahme der Aktivität wird verursacht durch die Absorption der kosmischen Strahlung durch die Höhlendecken, doch diese Absorption ist schon gut bekannt, also nicht so interessant wie die Anhäufung der aktiven Stoffe.

c. Über die sich anhäufenden Stoffe wissen wir bisher nicht Näheres; die Bestimmung ist eine Aufgabe für die Zukunft.

Analyse der Tagesschwankung und Jahresschwankung der Lufttemperatur in der Höhle "Vass Imre"

MIKLÓS GÁDOROS (Speläologische Forschungsstation Jósvafó, Budapest / Ungarn)

Summary:

Observations on temperature during the period of cooling and warming were made. A function was found for calculating the annual vacillation of temperature in the cave.

Zusammenfassung:

Es wurden einige Eigenschaften der Abkühlungs- und Erwärmungsperiode beobachtet und eine Funktion zur Ermittelung der Temperatur-Jahresschwankung in der Höhle gefunden.

An der Jósvafóer Speläologischen Forschungsstation werden die Klimabeobachtungen der Vass Imre Höhle seit 1958 durchgeführt. Die benützten Messgeräte und Einrichtungen wurden schon grösstenteils publiziert.

Die Höhle

In den geräumigen Hauptgang der Vass Imre Höhle kann man durch einen 7 m tiefen Schachteingang und einen 80 m langen, labyrinthähnlichen und engen Deltagang gelangen. Der erschlossene 500 m lange Teil des Hauptganges ist in einem grossen Saal durch eingestürztes Geröll abgesperrt, (dieses Hindernis konnte bis jetzt nicht überwunden werden).

In vier bekannten Etagen der Höhle fliesst kein Bach; doch im Falle grösserer Hochwässer wird das Wasser aus der bisher unbekannten Unterhöhle aufgestaut. Der Syphon in der Höhlenmitte (der osg. Lagunás Syphon) wird jährlich gesperrt, in niederschlagsreichen Jahren sogar 5-6 Monate lag. Der Syphon beim Eingang war seit 1959 dreimal gesperrt. Natürlich üben diese periodischen Absperrungen auf die Klimaverhältnisse der Höhle einen entscheidenden Einfluss aus. Wenn der Syphon in der Höhlenmitte gesperrt ist, ist die Luftbewegung kaum beobachtbar; die Aussenluft übt dann eine sehr geringe Wirkung aus. Das Absperren des Eingangsyphons isoliert natürlich das gesamte Höhlenklima.. Dagegen herrscht bei offenen Syphonen im Winter eine starke Kälteeinströmung, und in entgegengesetztem Sinne im Sommer eine starke Ausströmung der Höhlenluft. Abgesehen von dem Einfluss des Syphone, wird die Geschwindigkeit der Luftströmung am meisten von der Aussentemperatur beeinflusst.

Mitteltemperatur

Die Karte der Abb. 2 zeigt die bisher gemessene Mitteltemperatur und die absoluten Extremwerte. Das Diagramm in Abb. 3 stellt die Mitteltemperatur dar. Sehr auffallend ist die Kältezone beim Eingang; dieselbe haben bereits auch andere Forscher beobachtet (G. Abel, M. Pulina). Diese Kältezone entsteht infolge des starken Kühleffekts der im Winter eindringenden kalten Luftströmungen. Im Winter strömt ja die kalte Aussenluft ein und entfaltet einen sehr starken Kühleffekt. Im Sommer strömt dagegen keine Warmluft, sondern nur die Höhlenluft mit einer Temperatur von 10°C durch die Eingangsstrecke aus. Also muss die Mitteltemperatur in der Eingangszone zwischen der Höhlentemperatur und der äusserlichen mittleren Wintertemperatur liegen.

Die Mitteltemperatur ist in 5 Monaten (XI, XII, I, II, III) unter 10°C; die Mitteltemperatur dieser Periode ist 0,3°C. Die Mitteltemperatur der 5 Monate (V, VI, VII, VIII, IX) ist über 10°C. Das direkte Mittel beträgt 5,15°C als Erwartungswert für die Mitteltemperatur der Eingangszone. Doch befindet sich die Messtelle vom Eingang in einer Entfernung von 25m, also müssen die äusseren Mittelwerte umgerechnet werden. Durch eine monatliche Reduzierung bekommen wir das Wintermittel von 2,3°C (über die Umrechnung siehe unten). So ist der Erwartungswert 6,15°C. Der Messwert, also die Mitteltemperatur an dieser Messtelle, ist 6,4°C; die Differenz ist somit nicht bedeutend.

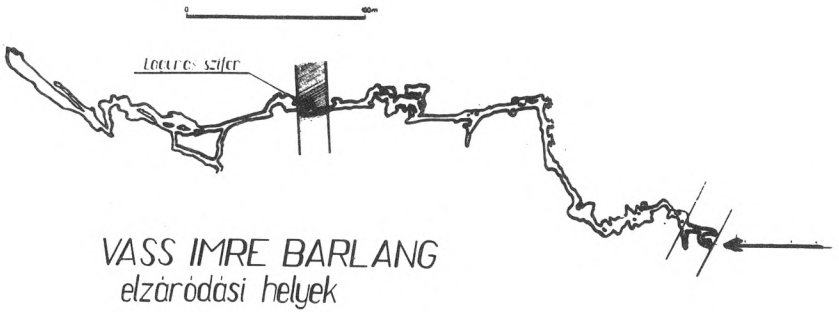


Abb. 1

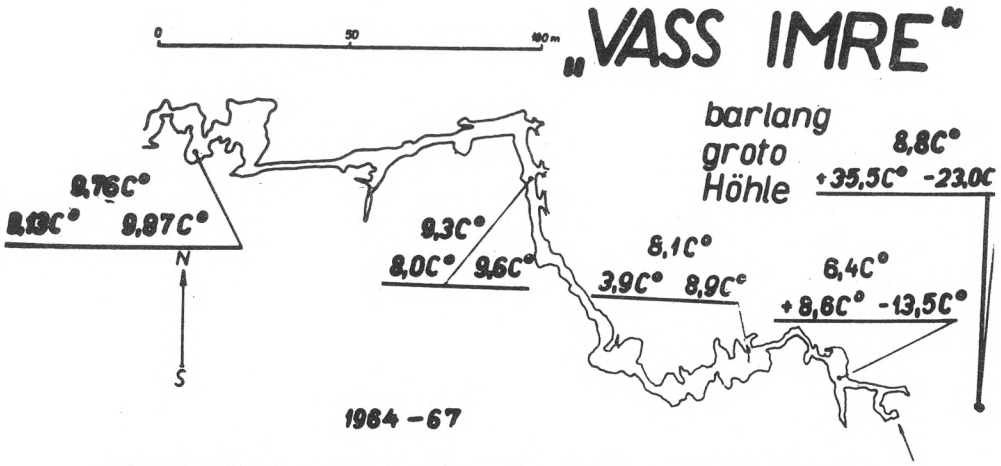


Abb. 2

Középhőmérséklet és abszolút szélsőértékek
Meztemperaturo kaj absolutaj ekstremoj
Mitteltemperatur und absolute Extremwerte

Abb. 3

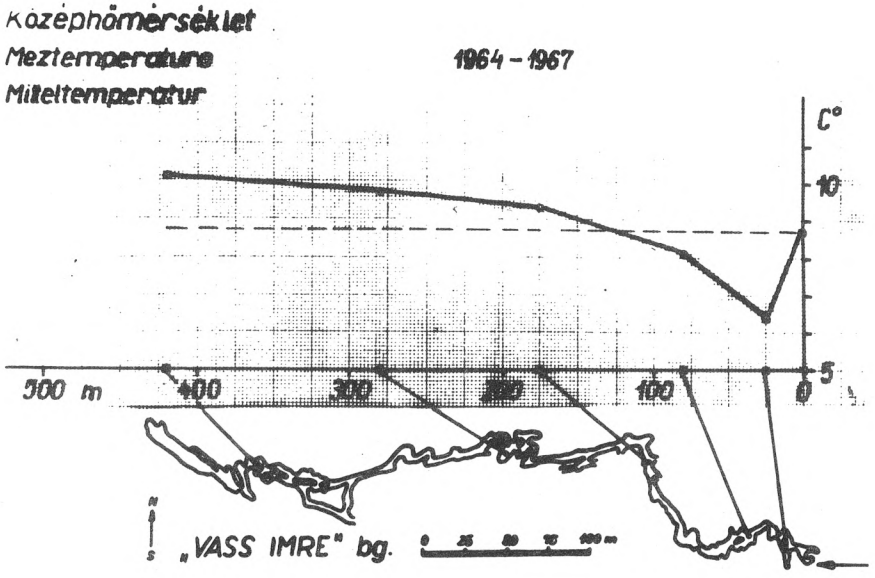
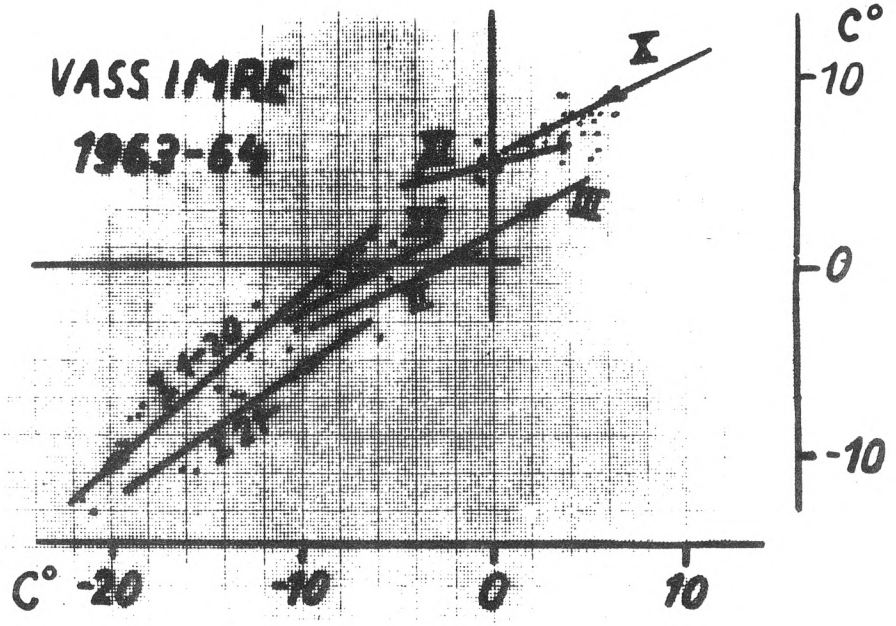


Abb. 4



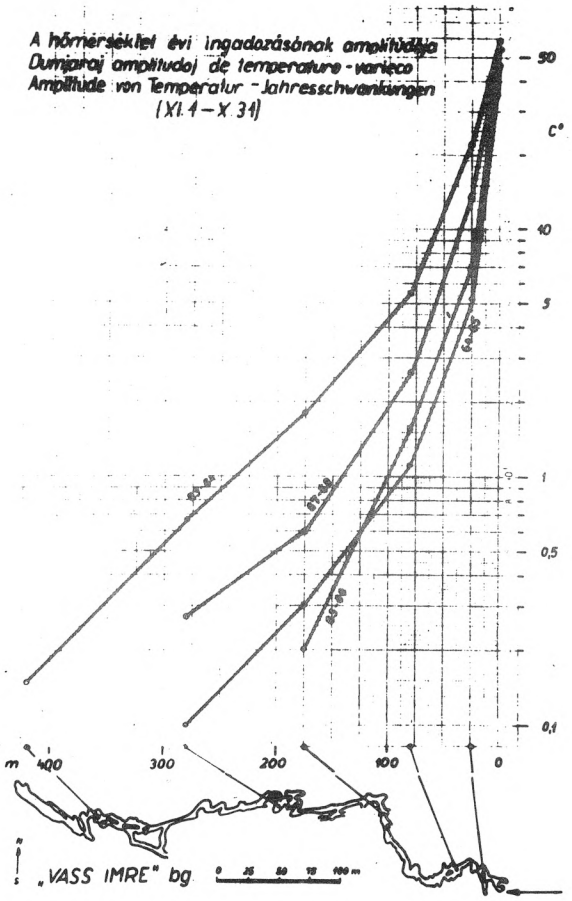


Abb. 5

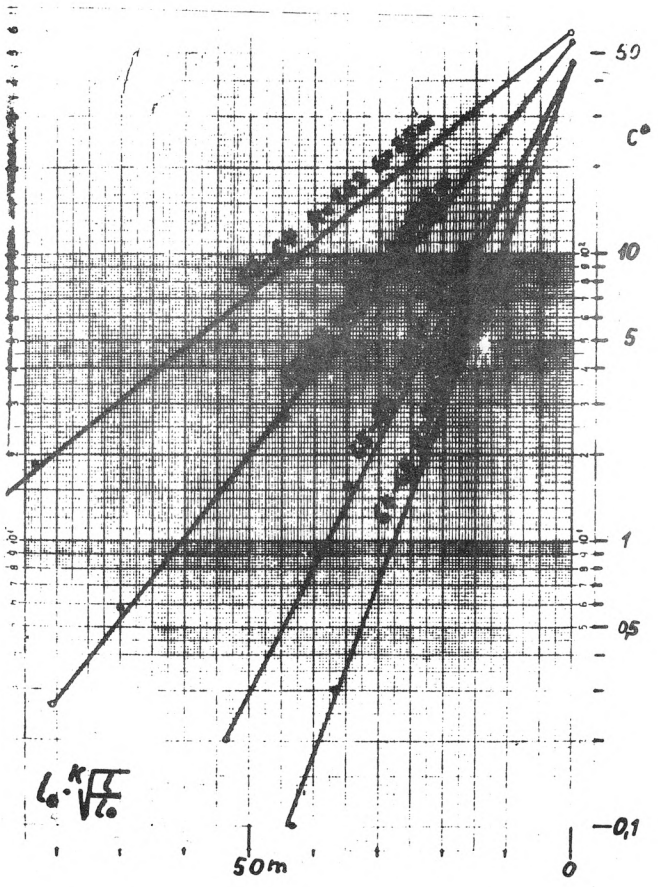


Abb. 6

VASS IMRE barlang
groto Höhle

$$\Delta t = \Delta t_o . \exp \frac{k}{\sqrt{\frac{l}{l_o}}}$$

	k	l_o
63–64	1,62	25 m
64–65	2,40	11,3 m
65–66	1,86	13 m
66–67		
67–68	1,69	18,8 m

Tabelle 1

Tagesschwankung

Wenn wir die Änderungen der Höhlentemperatur betrachten, sollen natürlich zwei Perioden, Abkühlung und Erwärmung, unterschieden werden. Beide Perioden teilen sich in zwei Unterperioden. In der ersten Unterperiode (sie sei mit α bezeichnet) ist längs der ganzen Höhle im allgemeinen eine Abkühlung. Die zweite Unterperiode der Abkühlung (β) ist gleich der ersten Erwärmungsperiode (γ); nämlich in der Eingangsstrecke ist eine Erwärmung, im Inneren der Höhle noch weiter eine Abkühlung beobachtbar. In der ganzen Abkühlungsperiode, also auch in der ersten Erwärmungsunterperiode, herrscht eine Lufteinströmung in die Höhle. In der zweiten Erwärmungsunterperiode (δ) herrscht eine Luftströmung aus der Höhle. Beim Strömungswechsel im Frühling und Herbst ist wochenlang eine Stillperiode (ε_1 und ε_2).

Leider beeinflussen in der Vass Imre Höhle die beiden Syphone die klimatologischen Verhältnisse sehr stark. Im Jahre 1963 bekamen wir eine ganze Winterperiode mit offenen Syphonen. Die Abb. 4 stellt die monatliche Regressionsgerade des Tagesminimums dar; in der Abszissenachse ist die Oberflächentemperatur, in der Ordinatenachse ist die Höhlentemperatur an der ersten Messtelle (25 m vom Eingang) eingetragen. Abgesehen vom unruhigen Dezember, kann man die Abkühlungsperiode und die erste Erwärmungsunterperiode, und eine Hysteresis gut erkennen.

Es wurde auch die allgemeine Regressionsgleichung ermittelt:

$$t_{M1} = 0{,}7 \cdot t_{OF} + 3{,}4 \quad C^0$$

(Diese Gleichung wurde auch bei Umrechnung der Temperaturmittelwerte benützt.)

Jahresschwankung

Es ist natürlich, dass die Amplitude der Jahresschwankungen sich sehr stark nachinnen vermindert. Die Klimatologen machten schon darauf aufmerksam (K. Ashton, A. Cigna), dass die theoretische Temperaturänderung in Höhlen meistens in der Nähe des Einganges eine Exponentialkennlinie haben. Es wurde schon festgestellt, dass die Änderung in Wirklichkeit nicht so stark ist, wie es theoretisch anzunehmen wäre (K. Ashton). Wir haben die Amplitude der Jahresschwankungen mathematisch diskutiert. Wir fanden, dass die Kennlinie der Amplitudenverminderung in der Vass Imre Höhle annähernd exponential verlief. Die Verminderung war jeweils etwas geringer als die Exponentiallinie. Das ist in Abb. 5 gut zu erkennen, wo die beobachteten Schwankungen an einem halblogarithmischen Koordinatennetz dargestellt sind. Wir haben die Funktion der Amplitudenverminderung analysiert, und fanden, dass eine wurzelförmige Reduktion der Entfernungen nötig ist, also

$$\Delta t\,(1) = \Delta t_0 \cdot \exp - \frac{K}{\sqrt{1_0}}$$

Im ersten Augenblick würde man annehmen, der Wurzelfaktor sei eine reiner Höhlenkennwert. Die Entfernung 1_0 (in der sich die Amplitude bis zum 1 Teil, also auf 37% der Aussenamplitude vermindert) hängt natürlich von den jeweiligen Klimaverhältnissen ab. Bringt der Winter starke, jedoch kurze Abkühlung mit sich, so wird diese kritische Entfernung kleiner als bei geringerer, aber sehr langer Abkühlung. Eine genaue Berechnung überzeugte uns davon, dass leider auch dieser Wurzelfaktor veränderlich ist. Doch darf hierbei nicht vergessen werden, dass der Syphon in der Höhlenmitte jedes Jahr in einem anderen Zeitabschnitt abgesperrt ist. Tatsächlich wurde in solchen Jahren, in welchen der Syphon länger abgesperrt war, der Wurzelfaktor merklich grösser.

Die Abb. 6 zeigt, dass die ermittelte Umrechnung der Entfernungen die Funktion der Amplitudenverminderung wirklich in die Exponentialfunktion transformiert. Die nächste Aufgabe ist, weiteres über K und 1_0, über ihren Zusammenhang mit der Höhlenmorphologie und den Klimaverhältnissen festzustellen.

Literatur

G. Abel — Die Höhlentemperatur in nordalpinen Bereich. Problems of the speleological Research Part II. Proc.Int.Spel.Conf. Brno 1964

K. Ashton — Cave Meteorlogy in the Tropics. Proc. of the 4th Int.Kongr.in Jugoslavia Vol.III. Ljubljana 1968

A. Cigna — Air Temperature Distributions near the Entrance of Caves. Symp.Intern. di. Speleologia, Varenna 1960

M. Gáderos — Elektromos távméröberendezés ... (Elektrische Fernmessanlage zur Untersuchung der klimatologischen und hydrologischen Verhältnisse in der Vass Imre Höhle. In ung.Spr. mit deutscher Zusammenfassung). Karszt- és Barlangkutatás II. 1960 Budapest, 1962

M. Gáderos — Temperaturfernmessung mit hoher Genauigkeit. Referat 4. Speläol.Kongr. in Ljubljana, 1965

M. Pulina — Termika vozduha v pescserah Polskih Tatr Proc. of the 4th Int.Kongr. in Jugoslavia Vol. III. Ljubljana 1968

Diskussion:

GEYH (Hannover): Die theoretischen Überlegungen über die Temperaturschwankungen in Höhlen könnten durch eine Dissertation an der TH Clausthal-Zellerfeld (Geophysikalisches Institut) 1966/67 durch Herrn MUFTI unterstützt werden. Diese wissenschaftliche Arbeit befasst sich mit Aufwärmungs- und Abkühlungseffekten in Bergwerksstollen durch die Bewetterung. Normierte Tabellen sind angegeben.

GÁDOROS: Danke sehr

ELRALMY (Cairo): Two points I would like to enquire about:
1. The variation in the 1st part of the curve and if this was due to influence of outside air temperature along the first 175 metres in the cave. (curve of temperature vs. distance). Also, if there is any gas emanations of high temperature which affects the last part of the curve.
2. What was the reason for giving different factors of k in the different years and it was noticed from the semi-log paper that the year 64-65 possesses the highest factor.

GÁDOROS: ad.1 Es ist bekannt, dass mit der wachsenden Tiefe eine Zunahme der Temperatur zu beobachten ist. Bei dem normalen geothermischen Gradienten (je 30 - 35 m Tiefe) erhöht sich die Temperatur um ein Grad Celsius. Also ist der innere Teil der Höhle wärmer, weil dort der geothermische Einfluss wirksam ist.

ad.2 Die Grösse des Faktors k kann durch die geometrischen Verhältnisse der Höhle beeinflusst sein, und der Syphon in der Höhlenmitte ist jedes Jahr in einem anderen Zeitabschnitt abgesperrt. 1964-65 war der Syphon sehr lang, vom Herbst bis Sommer, gesperrt.

Studien über Cañons in Alpinen Höhlen

MAX H. FINK (Wien / Österreich)

Im Speläologischen Fachwörterbuch (H. TRIMMEL u.a. 1965) wird der Begriff "Cañon" oder "Canyon" wie folgt definiert: "enge, klammartige Höhlenstrecken geringer Breite und bedeutender Höhe, deren Wände oft durch Schichtgesimse gestuft sind. Er besitzt meist mäandrierenden Verlauf und kann von Höhlengewässern ständig, zeitweise oder überhaupt nicht durchflossen werden."

Vielfach wird der Cañon mit dem Begriff "Klamm" gleichgesetzt; in der Schweizer Literatur hat sich der Terminus "Schluchtgang" eingebürgert.

Als wesentliches Kriterium für einen Höhlencanon sehen wir die hohen und zugleich schmalen Querschnitte, die senkrecht bis überhängenden Seitenwände, sowie den vornehmlich mäandrierenden Verlauf an. Die Cañons weisen vielfach auch in ihrer vertikalen Erstreckung ein Mäandrieren auf.

Im allgemeinen sind in alpinen Höhlen zwei Arten von Cañons zu unterscheiden: und zwar Cañons mit gleichsinnigem und solche mit ungleichsinnigem Gefälle.

Ein Sonderfall des Cañons mit gleichsinnigem Gefälle stellt jener Raumquerschnitt dar, der in der Literatur als "Schlüssellochprofil" bezeichnet wird, bei dem sich an der Basis eines meist flachelliptischen Ganges eine Cañonstrecke eingetieft hat.

R. G. SPÖCKER (1962) beschreibt solche Hohlräume aus der Schlüssellochhöhle im Laubensteingebiet (Chiemgau, BRD) als deutlich fluviomorphe Urprofile, bei denen der obere Teil als primäre Druckleitungsröhre, der darunterliegende cañonartige Querschnittsteil als Gravitationskanal gedeutet wird, der vielfach von Verbruchmaterial erfüllt ist. Dieses Verbruchmaterial besteht häufig aus kantigem bis kantengerundetem Bruchschutt, wobei eine paraautochthone Umlagerung mittels eines Gravitationsgerinnes angenommen wird.

Die Studien von A. BÖGLI (1969) erbrachten ebenfalls den Nachweis einer zweiphasigen Entwicklung dieses Raumquerschnittes. Der obere Teil entstand in der phreatischen Anfangsphase als schichtgebundener Ellipsengang. In dessen einstige Gangsohle wurde der Cañon durch ein Gravitationsgerinne eingeschnitten. A. BÖGLI fasst unter anderem den Cañon als Leitform für vadose Bildungsbedingungen auf, wobei dieser häufig durch Verbruch (Inkasien) verändert wird.

H. RIEDL (1959), der die speläogenetische Bearbeitung der Paulinenhöhle bei Türnitz (Niederösterreich) eingeleitet hat, wies bei der Besprechung der Cañonstrecken darauf hin, dass "... die Klüfte als solche nicht mehr erkennbar sind, wenn auch die Profile auf eine Kluftanlage deutlich hinweisen." Diese Bemerkung lässt die damals verbreitete Lehrmeinung erkennen, die besagte, dass durch hohe und schmale Hohlräume unbedingt auf eine Kluftgebundenheit geschlossen werden könne. Durch eine Kluftgebundenheit der Cañonstrecken ist jedoch ihr mäandrierender Verlauf nicht erklärbar. M. H. FINK (1967) gelang es in der Paulinenhöhle nachzuweisen, dass die Cañons entweder eine geneigte ebene Decke oder eine flachelliptische Deckenpartie aufweisen. Diese D e c k e n f l ä c h e n , wie wir die obere Begrenzung der Cañons nennen können, sind hier an Schichtflächen gebunden und folgen ihnen generell in der Fallrichtung, wobei ein leichtes Pendeln des Ganges in Form eines Mäanders verliegt.

Die Entstehung des "Schluchtganges" eines Schlüssellochprofiles geht in gleicher Weise vor sich wie die Cañons im engeren Sinne.

Die Gesimse, die vorwiegend parallel zu den Schichtfugen verlaufen, entstehen in den meisten Fällen durch selektive Abtragung, wobei die Korrosion als verstärkender und glättender Faktor der erosiven Primärform zum heutigen Erscheinungsbild geführt hat. Die konkaven Teile der Seitenwände entsprechen den ausstreichenden Schichtfugen, die konvexen hingegen den einzelnen Schichtpaketen.

In der Lechnerweidhöhle am Dürrenstein (Niederösterreich) sowie in anderen Höhlen des gleichen Gebirgsstockes haben die Forschungen ergeben, dass eine Reihe von Cañonstrecken, die zumeist grosse Hallen verbinden, an flach einfallende Harnischflächen grosser Verwerfungen angelegt sind.

Die in den östlichen Kalkalpen festgestellten Verhältnisse wurden durch die Studien in anderen Höhlen, vor allem in der Dachstein-Mammuthöhle (Oberösterreich) bestätigt.

Die Mehrzahl der Canons nimmt ihren genetischen Ausgang aus einer primären wasserwegsamen Gesteinsfuge, die entweder eine Schichtfuge oder eine tektonische Fuge sein kann und die zumeist eine flache bis mittlere Neigung aufweist. Die Dachflächen von stratigraphischen oder tektonischen Fugen stellen die Deckenflächen der Canons im engeren Sinne dar.

Die Eintiefung der Canons mit gleichsinnigem Gefälle erfolgt im vadosen Bereich durch das erosiv-korrosive Kräftespiel eines Gerinnes, wobei die erosive Komponente als dominant angenommen werden kann. Die Dachfläche der primären Ausgangsfuge bleibt als Decken fläche des Canons erhalten, wobei eine nachträgliche korrosive Umformung in Frage kommen kann. Beim freien Abfluss über eine geneigte Fläche benützt das Wasser den jeweils am stärksten geneigten Weg, der als Fallinie bezeichnet wird und der im Idealfall eine Gerade darstellt. Darüber hinaus ist in Höhlen das an einer Schicht oder Verwerfung abfliessende Wasser bestrebt, den Weg des geringsten Widerstandes zu überwinden, der durch die wechselnde Wasserwegsamkeit der Fuge bestimmt wird. Daraus und aus der von der inneren und äusseren Reibung bestimmten Fliesbewegung ergibt sich der mehrfach gekrümmte und mäandrierende Verlauf des Abflusses. Durch Eintiefung des Gerinnes "vererbt" sich die Form der ursprünglichen Abflussrinne und es kommt durch langandauernde Tiefenerosion bei gleichzeitiger Korrosion und relativ bescheidener Lateralerosion zu den bekannten Mäanderbildungen der Canonstrecken. H. W. FRANKE und H. ILMING (1963), von denen eine Untersuchung der Canons in der Dachstein-Mammuthöhle vorliegt, haben folgende Hypothese formuliert: "Die Breite eines Canons ist seiner Wasserführung proportional, seine Tiefe ist von dieser in erster Näherung unabhängig und nur der Zeit proportional."

Um die Frage des Eintiefungsvorganges eines Canons mit gleichsinnigem Gefälle zu klären, ist es notwendig, die Erkenntnisse der allgemeinen Geomorphologie zu berücksichtigen. Ein Gravitationsgerinne in einer Höhle unterliegt den gleichen naturgesetzlichen Bedingungen wie ein Fluss an der Erdoberfläche. Jedes Gerinne hat das Bestreben, eine Normalgefällskurve zu erreichen, die sich parabelähnlich konkav gegen den Oberlauf zu versteilt. Diese Normalgefällskurve wird von jedem Gerinne individuell durch die Wasser- und Geschiebeführung bestimmt. Eine verstärkte Tiefenerosion, die zur Bildung eines Canons führen soll, setzt ein sehr unausgeglichenes Gefälle voraus, das vom Idealfall einer Gleichgewichts- oder Normalgefällskurve sehr stark abweichen muss.

Dieses unausgeglichene Gefälle liegt vor allem dann vor, wenn zwischen einer im "Oberlauf" befindlichen flacheren Abflusstrecke, die etwa an eine Schichtfuge gebunden sein kann, und der lokalen Erosionsbasis in Form eines Vorfluters im Gebirgsinneren eine ausgeprägte Gefällsstufe vorhanden ist. Diese Gefällsstufe kann entweder eine steil in die Tiefe führende wasserwegsame Kluft oder Verwerfung oder ein bereits existierender Hohlraum sein, dessen Evakuationssohle tiefer liegt als die Deckenfläche des späteren Canons. Im Bestreben, die Normalgefällskurve zu erreichen, wird das Gerinne gezwungen, sich durch rückschreitende Erosion einzutiefen und dabei die Canonstrecke zu bilden.

Neben den oben besprochenen Canons, die ein gleichsinniges Gefälle aufweisen, gibt es eine Reihe von Canons, die in ihrer Längserstreckung ein u n g l e i c h s i n n i g e s Gefälle besitzen. Die Hoch- und Tiefstellen entsprechen zugleich den starken Biegungen der Gangstrecke. Die Deckenfläche und die Gesimse verlaufen kongruent mit dem Auf- und Absteigen des Canons. Auch bei diesem Canontyp, der unter anderem besonders eindrucksvoll in der Hermannshöhle bei Kirchberg am Wedhsel (Niederösterreich) und in der bereits erwähnten Paulinenhöhle zu beobachten ist, erfolgt die Primäranlage an den Schichtfugen.

Die Genese eines solchen Canons ist mittels eines Gravitationsgerinnes nur schwer vorstellbar. Das Vorhandensein eines ungleichsinnigen Gefälles würde im vadosen Bereich zu einem Stagnieren des Wassers führen, wobei eine Erosionsleistung nicht mehr gegeben is Hingegen ist eine Bildung der Canons mit ungleichsinnigem Gefälle unter phreatischen Bedingungen nicht auszuschliessen. Die Untersuchungen über den Entstehungsvorgang, der vermutlich in Form des Zusammenwachsens einzelner übereinander befindlicher Ellipsengänge zu denken ist, sind zur Zeit noch nicht abgeschlossen.

Literaturhinweise

BÖGLI, A. (1969) Neue Anschauungen über die Rolle von Schichtfugen und Klüften in der karsthydrographischen Entwicklung. Geol. Rdsch., B. 58, H. 2, Stuttgart 1969

FINK, M. H. (1967) Tektonik und Höhlenbildung in den niederösterreichischen Kalkalpen. Wiss. Beihefte z.Z. "Die Höhle", Nr. 11, Wien 1967

FRANKE, H. W. und ILMING, H. (1963) Beobachtungen in der Dachstein-Mammuthöhle (Oberösterreich). Die Höhle 14. Jg., H. 2, Wien 1963

RIEDL, H. (1959) Die Paulinenhöhle im Klausberg bei Türnitz. Höhlenkundl.Mitt., 15.Jg., H. 3, Wien 1959

SPÖCKER, R. G. (1962) Karstmorphologische Untersuchungen im Laubensteingebiet. Jh.f. Karst- u. Höhlenkunde, H. 3, München 1962

TRIMMEL, H. u.a. (1965) Speläologisches Fachwörterbuch (Fachwörterbuch der Karst- und Höhlenkunde), Wien 1965

Forschungsbericht aus dem Hochsystem des Hölloches

(mit Lichtbildern)

PAUL BERG (Effretikon / Schweiz)

1 In der Zentralschweiz liegt jenes Karstgebiet, welches das Hölloch in sich birgt. Von der 250 km^2 verkarsteten Fläche entwässert dieses Höhlensystem etwa 22 km^2.

2 Seit 1951 führt die "Arbeitsgemeinschaft Höllochforschung" alljährlich ihre Winterexpeditionen durch. Im Winter 1964/65 gelang es erstmals, in das obere System des Höllochs einzudringen. Damals schon bestand die Arbeitsgemeinschaft aus verschiedenen selbstständigearbeitenden Gruppen. Jede ist für ein bestimmtes Arbeitsgebiet verantwortlich. Die folgende Schilderung soll nur einen bescheidenen Überblick geben, über Erlebnisse, Arbeit und Beobachtungen einer einzigen von den drei Forschungsgruppen der AGH.

Das Hochsystem liegt völlig unabhängig durchschnittlich 300 m über den mittleren Höllochregionen. Der Aufstieg
3 folgt einer Verwerfung, welche die Überschiebungsflächen des Silberendecke über die Bächistockdecke durchquert.
Die Überwindung einer Deckenüberschiebung zweier tektonischer Einheiten, die als dicht gilt, ist in der Höhlen-
4 forschung einmalig!

Nun ein Blick zurück. Es ist ein alter Wunsch der Höhlenforscher, nach oben zu kommen und einen zweiten Ausgang zu finden. Von jeher wurden Schlote sorgfältig geprüft. Im mittleren Hölloch wurde der Blankstollendom 1960 mit Hilfe einer Kletterstange überwunden. Dann begann der Vorstoss nach oben. Dieses Gebiet wurde "Wassergang" benannt. Die Wirkung fallender Wasser war überall ersichtlich. Ein Abgrund, der vom alten Bachlauf angeschnitten wurde, lenkt nun das Wasser in unbekannte Tiefen. Die weitere Fortsetzung nach oben, ein enger wasserführender Stollen, wurde durch einen Felsblock versperrt. Erst nach zwei weiteren Jahren konnte dieses Hindernis unter schwierigen Umständen gesprengt werden. Dieser Punkt erwie sich als die Schlüsselstelle. Es ist der einzige Zugang ins obere System des Höllochs.

Der Winter 1965/66 brachte sehr gute Resultate. Die Gruppe von Prof. Dr. Bögli stiess ins Ostgangsystem vor und darüber hinaus in den "Roten Gang" sowie in die "Grosse Schlucht". Unsere Gruppe gelangte, dem Bache aufwärts
5 folgend, durch ein Steilgangsystem in das Gebiet der "Via Gloriosa". Die ersten Vorstösse wurden von Biwak I und Biwak II aus durchgeführt. Die Anmarschwege wurden zu lang. Wir beschlossen daher, im Winter 1966/67, Hochbiwaks
6 anzulegen. Die hierzu notwendigen Vortransporte dauerten zum Teil 36 Stunden; eine ausserordentliche Leistung von den Vortransportgruppen! Es war notwendig, die Zugangsroute zum Hochsystem gut auszubauen. Wir mussten jedoch berücksichtigen, dass technische Hilfsmittel, wie fixe Seile, Steigleitern, Hacken etc. sehr stark strapaziert werden, da ja nicht nur einzelne Forscher, sondern ganze Transportgruppen mit schwerem Material, die Einrichtungen benützen.

7 Unser Hochbiwak ist mit 1145 m das höchstgelegene im Hölloch. Es befindet sich im Gangzug "Via Gloriosa". Niedrig, nass, unbequem, lehmig doch der einzige ebene Platz zwischen gähnenden Abgründen. Die mehr oder weniger horizontal
8 verlaufende "Via Gloriosa" schneidet komplizierte Schlotsysteme im Osten und Westen an. Rund 3 km wurden bisher kartographisch aufgenommen. Das ist im Hölloch relativ wenig, jedoch müssen wir uns vor Augen halten, dass von diesen Gangstrecken nur 10 % wenig geneigt, 60 % dagegen senkrecht und die übrigen 30 % steil bis sehr steil verlaufen.

9 Lange Zeit war unser Hauptziel, den Weg nach oben zu verfolgen, dem sich alles unterzuordnen hatte. Die äusserst schwierigen meist wasserführenden Schlote von unten nach oben zu begehen, stellte uns vor heikle klettertechnische Aufgaben. Da die Wände ausgewaschen, ohne jegliche Risse sind, arbeiten wir ausschliesslich mit Bohrhaken. Sehr gute Dienste erwies uns die sechsteilige Kletterstange (12 m hoch) aus Anticorodal. Neben den senkrechten Röhren, die den nordamerikanischen Shafts ähnlich sind, gibt es noch die engen Spalten mit elliptischem Querschnitt.
10 Die Aufschwünge sind stufenweise aufeinandergestellt; die Rampen schmal und abschüssig. Bei grösseren, sind
11 gelegentlich Kalkbänke vorhanden.
12 Leider gelang bis heute kein Durchbruch an die Oberfläche. Der höchsterreichte Punkt in dem Gebiet "Via Gloriosa" liegt auf 1283 m, also 658 m über dem tiefsten Punkte des Höllochs. Die Schlotsysteme enden meistens in engen unpassierbaren Spalten. Die Erdoberfläche liegt immer noch etwa 110 m höher. Alle Versuche, von oben her einen Zugang in die Höhle zu finden, blieben bisher erfolglos.

13 Kritisch ist das Arbeiten in den Wasserfällen, dessen mechanische Einwirkungen ganz beträchtlich sind, abge-
14 sehen von der Temperatur von 5°C. Nur kurze Einsätze gewähren die nötige Sicherheit. Die wasserdichten Kleider, die wir gezwungenermassen tragen, hindern den Kletterer in seiner Bewegungsfreiheit.

Innerhalb des Hochsystems wurden durch verschiedene Färbungen mit Fluorescein die Zusammenhänge der einzelnen Wasserläufe abgeklärt. Jedoch konnte die Fortsetzung nach unten nirgends beobachtet werden.

15 Die Steilgänge haben meistens Schluchtgangcharakter. Man erkennt sehr gut die zweiphasige Entwicklung. Oben ellipsenförmig, phreatisch, angelegt auf Schichtfugen. Später unter vadosen Bedingungen entstand die eingefressene Schlucht.

16 Bei der diesjährigen Winterexpedition schenkten wir dem Höhlenwind besondere Aufmerksamkeit. Unser System der "Via Gloriosa" muß von irgendwoher noch eine weitere Luftzufuhr erhalten, denn aus der Aufstiegszone weht nur ein schwacher Wind. Nun wir fanden des Rätsels Lösung. Aus einem Steilgang blies uns ein heftiger Luftzug entgegen, also in falscher Richtung, denn im Winter steigt die Luft normalerweise aufwärts. Von dieser Tatsache läßt sich einiges ableiten! Verbindungsmöglichkeit mit den vorderen Teilen der Höhle; eventuell sogar Aussichten auf einen neuen Ausgang im Westen. Was wir aber mit Sicherheit annahmen, war, daß wir in dieser Richtung ein
17 neues System entdecken würden. Durch ein heikles Schlotnetz erreichten wir am vorletzten Forschungstag ein neues Gangsystem. "Zauberpfad" nannten wir den Hauptzug, der in westlicher Richtung hinwegzieht. Aufgrund der Fliessfassetten bewegte sich das Wasser in der letzten phreatischen Phase nach Osten, spätere periodische Wasserläufe in einstigen Überschwemmungszonen bewiesen in den Sand- und Kiesablagerungen eine Strömung nach Westen. Rund ein km wurde dieses Jahr vermessen und gegen alle Regeln unserer Forscharbeit ein weiterer begangen, ohne daß ein Ende erreicht worden wäre. Ein Seitenarm, der gegen Südosten führt, nimmt einen bedeutenden Teil des Windes auf. Im Sommer verhält sich im Zusammenhang mit dem Wind alles umgekehrt. Hereingewehte, tote Fliegen bewiesen, daß auch in dieser Richtung ein "Weg" zur Erdoberfläche führt. Nun, einiges wartet da noch auf seine Entdeckung.

18 Etwas noch über den einmalig schönen und reichhaltigen Tropfsteinschmuck der "Via Gloriosa". Wir beobachteten "Macaroni-Stalaktiten", auch viele "Exzentriker", unter welchen auffallend viel Trümmer liegen, die fast ausschließlich Nordwest-Südost-Achse ausgerichtet sind.

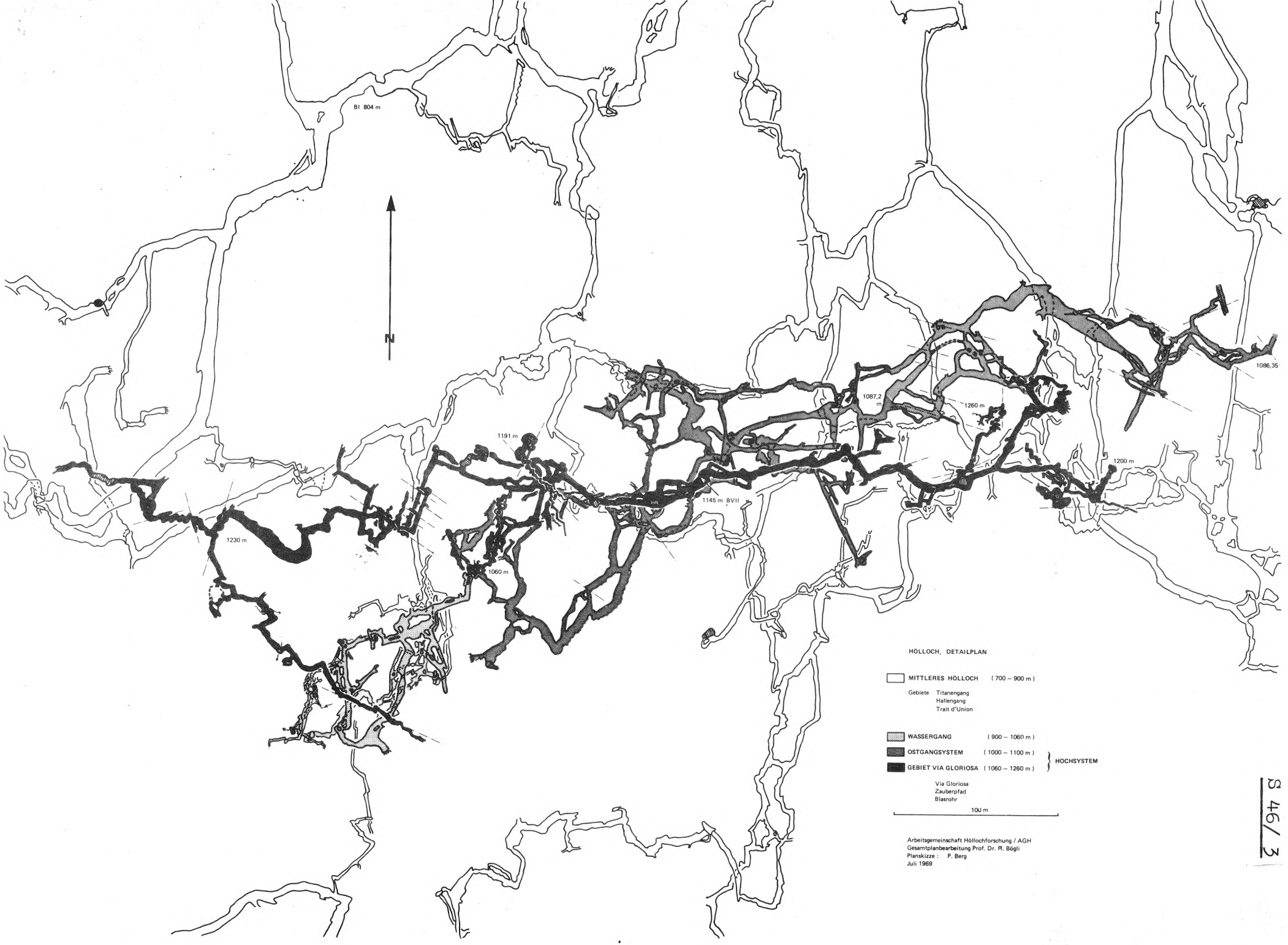
19 Hier ist an Erdbeben zu denken. Montmilch bereichert an einigen Stellen den farbigen Tropfstein. An mehreren Orten stiessen wir auf die kuriose Erscheinung, daß neben kristallklaren, schimmernden und aktiven Stalaktiten andere vorkamen, die gänzlich verlehmt waren. Die Lehmschicht beträgt etwa 3-10 mm. Hier handelt es sich um
20 präglaziale Bildungen, die nachträglich nochmals überschwemmt wurden. Oft erkennt man an exponiert gewachsenen
21 Tropfsteinen die Einflüsse des Höhlenwindes. Viele Spalten, die nach oben verlaufen, weisen herrliche Tropfsteinkaskaden auf. Die Farbenpracht übertrifft alles bisher bekannte im Hölloch. Ihre Skala reicht vom reinsten
22 weiß über gelb und orange bis zum feurigsten dunkelrot. Solch eine vielfarbige Tropfsteinwelt gehört auch für
23 den Höhlenforscher nicht zum "Alltäglichen". Durchschimmernde dünne Sinterfahnen ergänzen unseren Eindruck.
24
25
26 Die besonders schönen Kristallseen krönen diese Welt, in welcher Farben und Formen von der Natur zu meisterhafter Kunst geschaffen wurden.

27 Die Forschung im Hölloch ist zum Teil an die Grenze der Leistungsfähigkeit des Menschen angelangt. Ich denke dabei an die klettertechnischen Schwierigkeiten, an die Anmarschwege, an die Unfallmöglichkeit und nicht zuletzt an die Hochwassergefahr. Wieviel Mühe, Zeit und Anforderung, wieviel Material, wieviel guten Willen und was für einen großen Idealismus brauchen wir für unsere Höhle. Ohne viele helfende Hände, ohne wahre Kameradschaft wäre ein solches Forschungsprogramm, welches das Hölloch von uns fordert, gänzlich unmöglich.

Die Geheimnisse des Unterirdischen zu lüften, gesunde Abenteuerlust, intensives Erleben der Höhle und deren Schönheiten, unvergessliche Augenblicke des Neuentdeckens sind und bleiben die treibenden Kräfte, die uns immer wieder in die Höhle locken.

Aufstellung der Lichtbilder

1 Karstlandschaft (Muotatal)
2 Gesamtplan Hölloch
3 Skizze über Tektonik
4 Detailplan (siehe beigelegte Druckvorlage)
5 Kletterstelle im Wassergang
6 Quergang in der oberen Rampe des Wasserfalldoms
7 Hochbiwak VII
8 Gangzug "Via Gloriosa"
9 Schlotaufstieg
10 Klettertechnische Darstellungen
11 " "
12 Aufstieg in den "Steilgangdom"
13 Auf der Drahtseilleiter im Wasserfall
14 Abseilen im "Steilgangdom"
15 Schluchtgang
16 Steilgang
17 Gangzug "Zauberpfad"
18 Macaroni und exzentrische Tropfsteine
19 Montmilchvorkommen
20 Tropfsteinbeispiel, rein und verlehmt
21 Roter Stalagmit (Windverformung)
22 Tropfsteinkaskaden
23 Mehrfarbige Tropfsteingruppe
24 Rote Sinterfahne
25 Tropfsteingruppe mit Sinterfahne
26 Kristallsee
27 Biwaksee mit Drahtseilleiter


BI 804 m
N
1086,35
1087,2 m
1260 m
1200 m
1191 m
1145 m BVII
1230 m
1060 m
HÖLLOCH, DETAILPLAN
MITTLERES HÖLLOCH (700 – 900 m)
Gebiete Titanengang
Hallengang
Trait d'Union
WASSERGANG (900 – 1060 m)
OSTGANGSYSTEM (1000 – 1100 m)
GEBIET VIA GLORIOSA (1060 – 1260 m)
HOCHSYSTEM
Via Gloriosa
Zauberpfad
Blasrohr
100 m
Arbeitsgemeinschaft Höllochforschung / AGH
Gesamtplanbearbeitung Prof. Dr. A. Bögli
Planskizze : P. Berg
Juli 1969

S 46/3

Literatur:

Berg P.	Höllochforschung 1966/67 "Tat" 32. Jahrgang, Nr. 7
Berg, P.	Die 100 km Grenze ist überschritten (Höllochforschung 1948 bis 1968) "Berner Tagblatt" 81. Jahrgang Nr. 101 "Tat" 33. Jahrgang Nr. 68
Bögli, A.	Präglazial und präglaziale Verkarstung im hinteren Muotatal "Regio Basiliensis" Heft IX / 1 1968
Bögli, A.	Neue Anschauungen über die Rolle von Schichtfugen und Klüften in der karsthydrographischen Entwicklung "Geographische Rundschau" Band 58 1969
Bögli, A.	Das Hölloch von 1961 - 1967 "Die Alpen" Heft 3
	Höllochnachrichten Nr. 1, Nr. 2
Wittenburg, W.	Die Erforschung des Hölloches "Neue Zürcher Zeitung" Jan. 1967

Diskussion:

KRAUTHAUSEN (Karlsruhe):

Wie repräsentieren sich im Höhlenverlauf der Deckenübergang bzw. die Überschiebungsbahn?

BERG:

Deckengrenze bzw. -übergang sind nicht genau auszumachen. Sie sind auch noch nicht genauer festgestellt worden.

Über die unterirdischen Säle

MARCIAN D. BLEAHU (Bukarest / Rumänien)

Im Rahmen eines endokarstischen Hohlraumnetzes kann man drei elementare Formen unterscheiden: Gänge, Schächte und Säle. Die Gänge werden durch waagerechten Verlauf und gleichbleibenden Querschnitt, die Schächte durch senkrechten Verlauf und gleichbleibenden Querschnitt und die Säle durch unbestimmtes Gefälle und vergrösserten Querschnitt gekennzeichnet. Schon diese einfachen Erläuterungen schaffen den Sälen eine Sonderstellung, da die erste der beiden kennzeichnenden Eigenschaften (das Gefälle) einen unbestimmten Charakter hat (d.h. dass es verschiedenartig sein kann), während die zweite Eigenschaft (der Querschnitt) von einer anderen Form abhängig ist, demgegenüber sie"vergrössert" sein muss.

Die Höhlensäle können als Erweiterungen der Gänge, welche zu ihnen führen, angesehen werden. Obschon es einfach scheint, zu bestimmen, welcher Teil einer Höhle Saal genannt werden kann, ist es in der Praxis oft doch nicht immer eindeutig, welchen Räumen man diese Benennung zuschreiben kann. Erstens kann man keine genauen Masse angeben, zweitens hängt es vom Grundriss ab, und schliesslich besteht auch mit der Höhe ein Zusammenhang, da eine gewaltige Erhöhung der Decke auf einer kurzen Strecke den Eindruck eines Saales gibt.

Was die Position der Säle gegenüber dem Gangnetz anbetrifft, ist zu erwähnen, dass sie bei unterirdischen Zusammenflüssen als Erweiterungen eines Ganges, oder abseits der Hauptgänge auftreten.

Gänge und Schächte waren bereits das Thema zahlreicher Arbeiten. Säle wurden bisher nur in den Arbeiten erwähnt, welche sich mit Einstürzen befassen, und es scheint, dass allein Ph. Renault (1958) eine Analyse und Klassifizierung der unterirdischen Säle durchgeführt hat, wobei er folgende Typen unterscheidet:

A. An Gänge gebundene Säle

a. Niedere Säle, welche zu einem Gängelabyrinth gehören,

b. Längliche Säle, Riesengängen ähnlich, deren grosse Höhe durch Deckeneinsturz entstand,

c. Einsturzsäle, welche durch den Einsturz der Decke von zwei Übereinandergelegenen Gängen entstanden sind.

B. An Schächte gebundene Säle

Trichterförmige Säle (unterirdische Dolinen) durch senkrechten Abfluss entstanden.

C. Gemischter Typ

Säle,in welchen sich der Effekt des waagerechten mit dem des senkrechten Abflusses kombiniert, wobei Zwischentypen entstehen.

Im folgenden wird der Versuch gemacht, alle Entstehungsmöglichkeiten eines unterirdischen Saales aufzuzählen, mit besonderem Hinweis auf die spezifischen morphologischen Kennzeichen, wobei der Vorgang,der zur Vergrösserung des unterirdischen Raumes beiträgt, besonders beachtet wird. In diesem Sinne werden vier genetische Saalarten unterschieden, von denen jede mehrere Typen aufweist.

I. Zerrungssäle

Diese Saalart entsteht im Inneren des Kalksteinmassivs ohne Beitrag des Wassers. Der Hohlraum wird durch Zugkräfte hervorgerufen, welche bei tektonischen Bewegungen auftreten oder durch gravitationale Verlagerungen im Inneren des Massivs entstehen.

1. Die tektonischen Zerrungssäle können solche Ausmasse aufweisen, wie sie Wasser auch mit einem noch so grossen Durchfluss niemals hätte bilden können. Säle dieser Art sind an folgenden Kennzeichen zu erkennen: (1) Längliche Form, welche der tektonischen Dislokation folgt; (2) glatte und parallele Wände, oft mit Harnischflächen; (3) Abwesenheit jeder Spur von fliessendem Wasser (weder Sohlen- noch Druckgerinne). Das Wasser befindet sich hier rein zufällig und hat in keiner Weise zur Bildung des Hohlraumes beigetragen. Rein zufällig ist auch der Zugang zu solch einem Saal, welcher oft einem Hauptgang gegenüber exzentrisch ist.

Die österreichischen Speläologen nehmen an, dass die gewaltigen Säle der Mammuthöhle auf diese Weisen entstanden sind (Arnberger 1954).

2. Gravitationalzerrungssäle bilden sich infolge der Verschiebung verhältnismässig kleiner Kalksteinmassen, welche auf einem undurchlässigem Untergrund lagern. Das Kalksteinmassiv verlagert sich entlag von Mimimalwiderstandslinien (Klüfte, Verwerfungen), längs derer sich grosse Hohlräume bilden. Auch in diesem Falle beteiligt sich das Wasser nicht an der Modellierung des unterirdischen Hohlraumes. Für solche Säle sind kennzeichnend: (1) längliche Formen; (2) das Fehlen der Wasserbearbeitungsspuren; (3) unregelmässige Wände; (4) eine grosse Menge von gestürzten, eckigen Felsblöcken.

II. Korrosionssäle

Die Korrosion ist der Ursprung der meisten speläogenetischen Prozesse, und wie aus dem folgenden hervorgeht, spielt sie in der Bildung der Einsturzsäle eine ausschlaggebende Rolle. Hier werden aber nur diejenigen Säle in Betracht gezogen, bei welchen der erzeugende Prozess unmittelbar derjenige der Korrosion ist. Nach der Art des Korrosionsvorganges unterscheiden wir verschiedene Saalarten.

1. Differentialkorrosionssäle

Ein unter Druck befindliches Wasser vergrössert durch gleichmässige Auflösung nach allen Seiten hin den unterirdischen Hohlraum, in dem es fliesst. Wenn das Wasser durch diese Ausbreitung eine löslichere Gesteinschicht antrifft, dann vergrössert es den Hohlraum, durch schnelleres Auflösen, bis zu den relativen Ausmassen eines Saales. In den Horizontalschichten kann ein solcher Saal sich nicht bilden, da die Vergrösserung in der ganzen Länge des Ganges etwa gleichtist, so dass dieser einen Querschnitt in Form einer sehr flachen Ellipse haben wird. Nur in geneigten Schichten und nur wenn der Gang senkrecht oder schräg zum Schichtstreichen verläuft, wird ein Auflösungssaal entstehen. Da der zugrundeliegende Prozess die von der verschiedenen Löslichkeit des Kalkes hervorgerufene Differentialkorrosion ist, haben wir diese Art von Sälen Differentialkorrosionssäle genannt.

2. Totalauflösungssäle

Für eine differentielle Korrosion kann man nicht nur die Lösungsfähigkeit des Materials in Betracht ziehen, sondern auch die ungleiche Verteilung der Angriffswege. Es ist bekannt, dass bei einem dreidimensionalen Netz, welches aus Gefässen mit kleinem Durchmesser besteht, das Wasser sich unter Druck befindet. Die Vergrösserung des Durchschnittes der einzelnen Kanäle führt mit der Zeit zur Bildung eines Gängelabyrinthes. Wenn die Auflösung vollständig ist, bis zum Verschwinden der Trennwände der einzelnen Kanäle, bildet sich ein Hohlraum von grösseren Ausmassen. Dieses ist im allgemeinen der Vorgang, durch den sich ein Labyrinth in einen einzigen Gang verwandelt. Wenn im Kalkstock jedoch die Verteilung der Risse und Spalten ungleich ist, wird sich die spaltenreichere Zone in einen Saal verwandeln. Dem angedeuteten Prozess wurde von Ph. Renault (1957) die seitliche Position der Säle gegenüber den unterirdischen Hauptgängen zugeschrieben.

Ein derartiger Saal, den wir Totalauflösungssaal nennen, weil die Trennwände vollkommen aufgelöst wurden, ist gekennzeichnet durch: (1) das typische Ätzungsmikrorelief der Wände; (2) durch die Unregelmässigkeit des Hohlraumesnach allen drei Dimensionen hin, welche dem Druckfliessen eigen ist; (3) durch die Abwesenheit der Einsturzblöcke.

3. Regressivkorrosionssäle

Die Korrosion kann einen Saal nicht nur in einem Druckgerinne, sondern auch entlang eines Flusses mit Sohlengerinne bilden. Wenn sich an einem Gang eine durch das Nähertreten der Decke oder Wände hervorgerufene Enge befindet, so arbeitet diese bei Hochwasser als Siphon, welcher einen Rückstau hervorruft. Auf diese Weise bildet sich entweder ein See oder aber es füllt sich der Gang vollständig mit Wasser an und steht dann unter Druck. Der neue Wasserstand führt zu einer intensiveren Korrosion, welche durch Vergrösserung des Ganges einen Saal entstehen lässt. Ein solcher Saal, Regressivkorrosionssaal genannt, wird gekennzeichnet durch: (1) birnenförmigen Umriss (mit dem breiten Teil der Verengung zu); (2) Druckerossivspuren auf Wänden und Decke; (3) das Fehlen von Einsturzblöcken.

Das grossartigste Beispiel auf der Welt ist der grosse Saal der Skocjan-Höhle (Jugoslavien), wo aber auch der Einsturz eine bedeutende Rolle gespielt hat.

4. Dolinensäle

Dolinen sind die typischten Formen des Oberflächenkarstes. Dolinen können auch unterirdisch auf der Sohle von Höhlen auftreten, hervorgerufen durch: (1) eine Häufung von Klüften im Kalkstein; (2) einen unterirdischen Ponor oder (3) das Einsenken des Bodens, das durch einen darunterliegenden Gang hervorgerufen wurde.

Wenn die Bildung der Doline aber nur das Ergebnis der Korrosion ist, dann reden wir von einer Sinkkorrosion, bzw. von dem, was Ph. Renault "affaisement-dissolution" und H. Bretz "solutional-subsidence" nennt. Wenn die Doline das Ergebnis des langsamen Einsturzes in einen darunterliegenden Hohlraum ist, dann reden wir von einer Saugerscheinung, von Renault "soutirage" genannt. In beiden Fällen ist das Ergebnis die Bildung einer trichterförmigen Vertiefung auf dem Boden eines Ganges, was den Eindruck eines Saales an der Stelle hervorruft. Das Einsinken des Bodens führt später zum Einsturz der Wände, was zur Vergrösserung des Saales beiträgt.

Säle solcher Art nennen wir Dolinensäle, wie sie auch Ph. Renault genannt hat (Punkt B in seiner Klassifizierung). Sie werden durch folgende Merkmale gekennzeichnet: (1) einen kreisrunden Umriss; (2) gleiche Höhe mit den Gängen, welche in sie münden; (3) die Form der Decke entspricht der Form der Decke des Ganges, aus welcher sie hervorgegangen sind, (4) eine mit einer dicken Geröll- oder Tonschicht bedeckte Sohle, in welcher der Trichter eingesunken ist.

5. Mischungskorrosionssäle

Ein neuer Prozess für die Speläogenese wurde in letzter Zeit von A. Bögli (1964) hervorgehoben. Es ist damit die Mischungskorrosion gemeint, welche daraus besteht, dass beim Zusammenfluss von zwei Gewässern mit verschiedenem CO_2-Gehalt und demnach unterschiedlicher Lösungskraft, die Lösungskraft durch die Befreiung eines Teils des CO_2 wächst. Dieser Vorgang findet selbst dann statt, wenn beide Wässer gesättigt sind. Diese Feststellung ist sehr wichtig, denn sie erklärt, weshalb die Korrosion auch noch sehr tief im Inneren des Kalksteinmassivs stattfinden kann, wohin normalerweise jedes Wasser nur in gesättigtem Zustand gelangen kann.

Die Steigerung der Korrosionsfähigkeit beim Zusammenfluss von zwei unterirdischen Wasserläufen führt zur Idee, dass hier ein Saal entstehen wird. Es ist eine den Speläologen wohlbekannte Tatsache, dass fast alle unterirdischen Zusammenflüsse in grossen Sälen stattfinden. In den meisten Fällen entstehen solche Säle beim Aufeinandertreffen von Klüften, entlag deren dann Einstürze stattfinden. Aber nicht von solchen Sälen soll hier die Rede sein, denn in diesem Fall haben die zusammenfliessenden Gewässer Sohlengerinne, bei denen die Mischungskorrosion einen geringen Einfluss hat, da sie nur unter dem Wasserspiegel tätig ist. Der Einfluss der Mischungskorrosion gewinnt an Bedeutung, wenn sich das Wasser unter Druck befindet, wobei es auf dem ganzen Querschnitt des Ganges wirkt. In diesem Fall kann die Korrosion durch eine weitgehende Erweiterung des Ganges zur Bildung eines Saales führen, den wir Mischungskorrosionssaal nennen.

Die Mischungskorrosionssäle finden wir in den unterirdischen Netzen, welche die Druckgerinnemorphologie beibehalten haben. Diese Saalart hat: (1) eine ovale Wölbung, (2) einen kreisrunden Grundriss, (3) die Wände weisen ein Ätzungsmikrorelief auf und (4) es fehlen die Einsturzblöcke.

Der Saal ist glockenförmig, wenn in einen waagerechten Gang ein von oben kommendes Wasser eindringt.

III. Erosionssäle

Die Erosion spielt in der Bildung der kleinen unterirdischen Hohlräume eine verhältnismässig geringe Rolle. Sie führt nur zur Vergrösserung des Hohlraumes, so dass sie in demselben Mass an Bedeutung gewinnt, in dem sich die Abflussgänge erweitern. Durch die Vergrösserung der Hohlräume führt die Erosion zu Einstürzen. Im folgenden werden wir uns aber nicht mit dieser letzteren Erscheinung befassen, sondern nur mit jenen Erweiterungen, welche ausschliesslich auf Kosten der Erosion gehen.

1. Differentialerosionssäle. So wie bei der Korrosion, wirkt auch die Erosion auf die weniger widerstandsfähigen Kalksteinschichten. Wenn bei der Korrosion die Schwäche des Gesteins chemischer Natur war, so ist sie hier mechanischer Art. Wenn zum Beispiel ein unterirdischer Fluss, weldher Mäander bildet, auf weniger widerstandsfähige Schichten auftrifft, werden diese kräftiger ausgewaschen, so dass der Gang zu einem Saal erweitert wird. Wie bei der Korrosion, ist dieses nur dann möglich, wenn das Wasser rechtwinklig oder schräg zum Schichtstreichen steht. Diese Differentialerosionssäle sind durch (1) eine regelmässige Form, die von der weniger widerstandsfähigen Schicht abhängt, (2) durch mäanderförmigen unterirdischen Flusslauf und (3) durch relativ grosse Höhe - ein Beweis der epigenetischen Vertiefung des Wassers - gekennzeichnet.

2. Hydrodynamische Erosionssäle. Oftmals ist entlang eines unterirdischen Wasserlaufes eine Verengung zu erkennen, welcher je eine saalförmige Erweiterung vorhergeht und folgt. Wenn Klüfte, Zusammenflüsse oder Einstürze, welche diese Form begründen würden, fehlen, muss die Erklärung bei der Wirkungsweise des fliessenden Wassers selbst gesucht werden, welches bei Hochwasser durch die Vergrösserung der Durchflussmenge nicht mehr durch die Enge abfliessen kann. Oberhalb der Enge staut sich das Wasser und führt auf diese Weise zur Bildung eines Regressivkorrosionssaales, wie vorher erklärt. Dadurch, dass das Wasser die Enge passieren muss, steigt aber seine Geschwindigkeit und folglich auch seine Kraft. Abwärts prallt das Wasser wahllos auf die Wände, erodiert kräftig und vergrössert den Gang bis zur Grösse eines Saales. Der Abbauvorgang ähnelt etwa dem eines Hydromonitoren. Ein solcher Saal kann hydrodynamischer Erosionssaal genannt werden.

3. Vertikalerosionssäle. Die hydrodynamische Erosion findet nicht nur waagerecht, sondern auch senkrecht statt. Es handelt sich um das freie Fallen des Wassers in einen Schacht, wobei die Erosionskraft von der kinetischen Energie des Wassers abhängig ist. Es ist bekannt, dass jeder Wasserfall, der sich auf der Erdoberfläche findet, an seinem Fusse eine tiefe und weite Auswaschungswanne aufweist. Genauederselbe Vorgang findet auch unter Tag statt, mit dem Unterschied, dass hier die ganze Reihenfolge der Formen, von der ursprünglichen bis zur gegenwärtigen, erhalten bleibt, so dass die Vertiefungsetappen von den Wänden abgelesen werden können. Je mehr die Sohle nach unten geht, desto grösser wird der Wasserfall, desto kräftiger die Erosion, und infolgedessen der Hohlraum grösser. Das Ergebnis ist ein glockenförmiger Saal, wobei dieser Typ Vertikalerosionssaal genannt werden kann.

III. Einsturzsäle

Die komplizierteste Saalart wurde für den Schluss aufgespart, da hier diejenigen Formen eingegliedert werden, die nicht ausschliesslich den vorhererwähnten Prozessen zugehören, deren Anwesenheit aber auch hier vermutet wird. Wie schon der Name andeutet, werden hier alle Formen zusammengetragen, die von einem Einsturz herrühren, wobei durch Einsturz das Lockern und Fallen eines Teiles der Kalksteins zu verstehen ist, der den unterirdischen Hohlraum umfasst, ganz gleich, wo der Einsturz stattfindet (Decke, Wände, Sohle). Der Einsturz ist der letzte saalbildende Vorgang, doch hat er mehrere Gründe.

Bei der Analyse des Einsturzvorganges muss von der Voraussetzung ausgegangen werden, dass es ohne Diskontinuitäten in der Masse des Kalksteins keine Einstürze geben kann. Diese Diskontinuitäten sind Schichtfugen, Klüfte und Risse, von deren Dichte und Verteilung die Grösse und Form der Einstürze abhängen. Zweitens muss auf die Agenten geachtet werden, welche dazu führen, dass zusammenhängende Kalksteinblöcke die Bindung zueinander verlieren, sich lösen und einstürzen. Schliesslich greift noch ein drittes Klassifikationskriterium ein, die Stelle, an der der Einsturz stattfindet (Decke, Wände, Sohle). In dieser Situation, selbst mit dem Risiko des Nichteinhaltens eines einheitlichen Klassifikationskriteriums, werden wir unmittelbar die hervorgegangenen Formen unterscheiden, bzw. die durch Einsturz gebildeten Säle, ohne sie nach einem genetischen, räumlichen oder strukturellen Kriterium einzugliedern.

1. Kluftkreuzungssäle. Es wurde hier schon erwähnt, dass sich unterirdische Zusammenflüsse meist in grossen Sälen befinden, was bei Druckfliessen der Mischungskorrosion zugeschrieben wurde. Bei Sohlengerinne ist die Erscheinung noch eindeutiger, zumal wenn die zusammenfliessenden Gewässer aus grossen Gängen kommen.

Diese Gänge sind von Klüften bedingt, welche sich beim Zusammentreffen schneiden und dadurch eine weniger widerstandsfähige Zone des Kalkgesteins bilden, die das Abstürzen von Blöcken aus der Decke ermöglicht. Die häufigen Einstürze bilden einen Saal, welcher durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist: (1) deachförmige Decke; (2) grössere Höhe als die beiden Gänge, die sich hier treffen; (3) ein Wandrelief, das Abstürzspuren aufweist; (4) Ansammlung von Einsturzblöcken, sofern diese nicht vom Wasser abgetragen wurden.

Die Kreuzung zweier Klüfte kommt örter vor. Seltener ist das Aufeinandertreffen von drei oder mehreren Klüften, aber um so grossartiger ist der Effekt. Je grösser die Zahl der Klüfte, desto grösser ist die dem Absturz günstige Zone, und um so grössere Ausmasse kriegt der Saal.

2, Säle der Kreuzung von Bruchfugen mit Schichtfugen bilden einen besonderen Fall der vorherbeschriebenen Säle, wobei eine der Diskontinuitäten eine Schichtfläche ist. Vom morphologischen Standpunkt aus ist der Unterschied deutlich, da die Einstürze, die entlag der Schichtfläche stattfinden, die Schicht entblössen und eine glatte, geneigte Fläche hinterlassen, die beim Begegnen einer Kluft plötzlich aufhört. Infolgedessen ist das Deckenprofil assymmetrisch, mit einer mehr (Kluftfläche) und einer weniger starken (Schichtfläche) Neigung. Säle dieser Art bilden sich oft den Gängen entlang, die einer Schichtfläche folgen. Sie weisen stellenweise plötzlich auftretende Erhöhungen und Erweiterungen auf.

3. Differentialeinsturzsäle. Es wurde schon erwähnt, dass sich bei verschiedenartiger Löslichkeit einer Kalkschicht genau so gut ein Saal bilden kann wie bei unterschiedlichem Erosionswiderstand. Solche Unterschiede kann es auch im Bereich der Kohäsion der Kalksteinmasse geben, in dem Sinne, dass manche Schichten stärker zerklüftet oder weniger widerstandsfähig dem Gewölbeeffekt gegenüber stehen und so, fähiger sind, Einstürze zu verursachen. Beim Aufeinandertreffen eines Ganges mit solch einer Schicht findet, wegen des Abstürzens, ein Erheben der Decke und ein Zurücktreten der Wände statt. Der so entstandene Saal entspricht genau der Stärke der Schicht. Die Decke eines solchen Saales ist assymmetrisch, mit einem Gefälle, welches der Schichtenstärke der gestürzten Schicht entspricht, und einem kleinerem Gefälle, welches der unteren Schichtfläche der darüberliegenden widerstandsfähigen Schicht entspricht.

4. Kalkzertrümmerungssäle. In der Masse des Kalksteins befinden sich manchmal tektonisch angegriffene Zonen, welche an ausgeprägteren Zerklüftungen und Rissen zu erkennen sind. Solche Zonen tauchen in der Nähe der Verwerfungen auf oder sind von Flächenpaaren, welche sich unter gewissen Winkeln schneiden, erzeugt. Wenn ein Gang eine solche Zerklüftungszone schneidet, wird sich hier ein Saal bilden. Auch dieses ist ein Differentialeinsturzsaal, wie im vorhergehenden Fall, mit dem Unterschied, dass hier die Verschiedenartigkeit des Widerstandes nicht von einem stratigraphischen Element (einer bestimmten Schicht), sondern von einem tektonischen (starken Zerklüftungszone) hervorgerufen wird.

5. Chemioklastische Einsturzsäle. Die bisherigen vier Saaltypen wurden nur unter dem Gesichtspunkt der Diskontinuitäten, denen entlang die Einstürze stattfinden, analysiert, wobei aber der Agent, der den Einsturz hervorruft, nicht in Betracht gezogen wurde. Dieser ist meistens die Korrosion, hervorgerufen vom Sickerwasser, welches gerade an diesen Diskontinuitäten Zutritt findet. Folglich könnten alle erwähnten Saalarten auch in diese Kategorie eingegliedert werden. Doch war der vorherrschende Effekt von dem Vorhandensein einer bestimmten strukturalen Beschaffenheit gegeben, so dass eigene Kategorien gebildet wurden. Nun werden die Fälle angegeben, bei denen die Einstürze von einer stärkeren Korrosion hervorgerufen sind.

Eine stärkere Korrosion kann durch eine stärkere Zerklüftung oder durch ein aggressiveres Wasser hervorgerufen werden. Der erste Fall ist dem beim vorhergehenden Punkt besprochenen gleich; der zweite lässt sich durch ein leichteres Eindringen des Wassers von der Oberfläche bis zum unterirdischen Hohlraumnetz erklären, wo es mit aggressivem CO_2 geladen eintrifft.

Die Lokalisierung des eindringenden Wassers bestimmt die Morphologie des Einsturzes und folglich des entstandenen Hohlraumes. Wenn der Eintritt auf einer kleinen Fläche konzentriert ist, so wird der Einsturz einen hohen und mehr oder weniger runden Kamin bilden, welcher, wenn er aus einem engen Gang aufsteigt, den Eindruck eines sehr hohen Saales erwecken wird. In einer fortgeschrittenen Phase der Einstürze wird der Saal eine Glockenform annehmen.

Wenn das hochaggressive Wasser auf einem begrenzten Abschnitt einer Kluft eintritt, entlang der ein Gang existiert, dann beschränken sich die Einstürze auf diesen Abschnitt, der an Höhe gewinnt. Die zu grosse Erhöhung führt an dieser Stelle auch zu einer Erweiterung des Ganges durch Einsturz der Seitenwände und, schliesslich, zur Bildung eines Saales mit dem Aussehen eines Riesenganges. Ein solcher Saal hat dann folgende Merkmale: (1) er ist der Längsachse des Zutrittganges entlang angeordnet; (2) ist viel breiter als dieser; (3) hat eine spitzbögige Decke, so wie auch die des Ganges, aber in einer grösseren Höhenlage; (4) weist Anhäufungen von Einsturzblöcken auf.

Die Benennung "chemioklastisch" wurde von J. Montoriol Pous (1951, 1964) übernommen, der diesen ausschliesslichen Korrosionstyp dem glyptoklastischen Typ gegenüberstellt von dem noch die Rede sein wird.

6. Vereinigungssäle. Bisher wurden die Säle erwähnt, die durch den Einsturz der Decke entstehen. Einstürze können aber auch in den Wänden oder auf der Sohle stattfinden. Die seitlichen Einstürze können zur Vergrösserung eines vorhandenen Hohlraumes, also zur Vergrösserung der Gänge führen. Aus zwei parallelzueinander verlaufenden Gängen kann durch den Einsturz der Trennwand ein Saal entstehen, in welchem sich die zwei Gänge treffen. Dieser Saal wird (1) die Höhe der Gänge und (2) eine Breite, die der Gesamtbreite beider Gänge entspricht, haben; (3) auf der Decke sind die drei Richtungsspalten, die parallel verlaufen, bemerkbar; (4) von der Trennwand können Pfeiler übrig bleiben. Da die Verbindung der zwei Gänge in derselben Ebene stattfindet, ist in diesem Fall von einem Horizontalvereinigungssaal zu sprechen.

Wenn der Einsturz auf der Sohle des Ganges, zwischen zwei übereinander liegenden Gängen stattfindet bildet sich ein hoher Saal, dessen Höhe der Höhe der beiden Gänge entspricht. Auf der Sohle solch eines Saales sind Haufen von Einsturzblöcken zu finden, wohingegen die Decke meist keine Einsturzspuren aufweist. Dieses sind die Vertikalvereinigungssäle.

7. Glyptoklastische Einsturzsäle. Unter Gylptogenese versteht man in der Geologie alle Abtragungsvorgänge. J. Montoriol Pous (1951) hat in der Speläogenese diesen Ausdruck eingeführt, um die gemischte Aktion der Korrosion und Erosion zu definieren, deren Endeffekt das gänzliche Verschwinden der Trennwände eines Ganglabyrinthes durch Einsturz ist. Der so gebrauchte Ausdruck "glyptos" beschränkt sich auf einen Einzelfall, aber wenn von glyptoklastischem Einsturz die Rede ist, ist der Ausdruck gut umrissen.

J. Montoriol Pous (1954) unterscheidet zweierlei glyptoklastische Einstürze. Der erste Typ, "monorektikularer glyptoklastischer Einsturz" genannt, geht von einem unter Druck stehenden und waagerecht verlaufenden Labyrinth aus, das in einer einzigen Kalksteinbank liegt.

Durch den Einsturz der Trennwände entsteht ein Saal dessen Breite, im Vergleich zur Höhe, sehr gross ist. Diese Saalart wurde von Ph. Renault "niedere Säle" genannt (Punkt A.a. in seiner Klassifikation).

Der zweite glyptoklastische Einsturztyp wurde von Montoriol Pous "poliretikularer glyptoklastischer Einsturz" genannt, wobei er darunter den vollkommenen Einsturz der Wände und Sohlen eines vielstöckigen Labyrinthes versteht. Es ist folglich eine senkrechte, mehrfache Vereinigung, welche aber von einem Druckfliesslabyrinth ausgeht.

Das Ergebnis ist ein Saal, welcher sowohl in der Waagerechten wie auch in der Senkrechten, grosse Ausmasse hat. Der obengenannte Verfasser ist der Meinung, dass die grossen unterirdischen Säle auf diese Weise entstanden sind. Auch Ph. Renault erkennt diese Art Säle, welche er einfach "Einsturzsäle" nennt (Punkt A.a. in seiner Klassifizierung).

Folglich können wir die aus einem Labyrinth entstandenen Säle vier Typen zuweisen, je nachdem, ob das Labyrinth ein- oder mehrstöckig ist, oder ob die ursprüngliche Decke erhalten oder abgestürzt ist.

Diesen vier genetischen Typen entsprechen ebensoviele morphologische Säle, welche sich gut voneinander unterscheiden:

a. Einstöckiger Labyrinthsaal mit Urdecke. Ein Saal, dessen Breite, gegenüber der Höhe, sehr gross ist, wobei die Höhe die der Gänge ist, die in dem Saal münden. Diese Säle haben Pfeiler, welche Reste der ehemaligen Trennwände darstellen, eine Decke die Druckfliess-Spuren aufweist, und wenige Einsturzblöcke.

b. Einstöckiger Labyrinthsaal mit Einsturzdecke. Hoher länglicher Saal (Typ Riesengang) mit Dachdecke oder abgerundetem Gewölbe, ohne Spuren eines Druckfliessens, oftmals abseits der Höhlenhauptachse gelegen. Seine Sohle ist mit Einsturzblöcken bedeckt.

c. Mehrstöckiger Labyrinthsaal mit Urdecke. Weitläufiger Saal grosser Ausmasse, sowohl in der Waagerechten wie auch in der Senkrechten, in welchen in verschiedenen Höhen Gänge münden. Die Decke ist flach, mit Spuren von Druckfliessen. Die Sohle ist von Gesteinsblöcken bedeckt, welche ebenfalls Spuren von Druckfliessen aufweisen (die von den Zwischendecken stammen).

d. Mehrstöckiger Labyrinthsaal mit Einsturzdecke. Hat die Kennzeichen des vorhergehenden Saales aber mit einer Decke, welche nach zwei Seiten abfällt, oder die Form eines abgerundeten Gewölbes. Die Decke weist keine Druckrinnungsspuren auf.

8. Frosteinsturzsäle. Die Frostspaltung ist das Bersten der Gesteine durch Einfrieren. Im Karst ist dieses einer der Hauptagenten der Abtragung. In Höhlen spielt die Frostspaltung nur dort eine Rolle wo die klimatischen Schwankungen spürbar sind, bzw. in der Eingangszone. Der Frostspaltung kann man die grossen Höhleneingänge, die Halbhöhlen (abri sous roche) und die oftmals gewaltigen Höhleneingangssäle, die bald trichterförmig enden, zuschreiben. Die Frostspaltung wirkt auf allen Rissen, aber auch auf grossen Klüften, so dass die aus dem Einsturz hervorgegangene Form ein Saal mit einem abgerundeten Gewölbe sein kann, oder sich dessen Decke nach zwei Seiten neigt. Die Frostspaltung bildet keine eigenen Formen, so unterscheidet sich von den übrigen Einsturzfaktoren durch die hohe Zerstörungsgeschwindigkeit.

Jede Klassifikation ist ein künstlicher Schnitt zwischen Phänomenen, die sich gegenseitig durchdringen, und zwischen Formen, die alle Übergänge aufweisen. So auch im Falle der Klassifizierung, welche wir vorschlagen. Es ist klar, dass wir nur schwer reine, unvermischte Typen finden werden und man könnte sogar gemischte Typen schaffen, da es in den meisten Fällen schwer ist, die Wirkungen der Korrosion von denen der Erosion zu trennen.

Unsere Klassifizierung ist ausschliesslich genetisch, aber ohne eine strenge Rangordnung der erzeugenden Faktoren, so dass man zu jeder Zeit Ergänzungen mit neuen Typen bringen kann. Gegenüber einer morphologischen Klassifizierung, wie derjenigen von Ph. Renault, erscheint sie uns abgestufter und viel handlicher in der Anwendung. Dieses aber wird in der Zukunft nur die Praxis bestätigen oder widerlegen.

SCHRIFTTUM

Arnberger, E. (1954) — Neue Ergebnisse morphotektonischer Untersuchungen in der Dachstein-Mammuthöhle. Mitt. der Höhlenkommission, J. 1953, H. 1, S. 68-79

Bögli, A. (1964) — Die Kalkkorrosion, das Zentrale Problem der unterirdischen Verkarstung. Steirische Beitr. zur Hydrogeol. J. 1963/64, S. 75-90

Bretz, J. H. (1950) — Origin of the filled sink-structures and circles deposits of Missouri. Bul. Geol. Soc. America. t. 61, S. 789-833

Goguel, J. (1953) Données techniques sur l'effrondement des cavités souterraines. Ann. Spél. VIII, F. 1, S. 1-8

Montoriol Pous, J. (1951) Los procesos clasticos hipogeos. Eass. Spel. Ital. III, F. 4, S. 119-129

Montoriol Pous, J. (1954) Resultado de nuevas observaciones sobre los procesos clasticos hipogeos. Eass. Spel. Ital. VI, F. 3, S. 103-114.

Renault, Ph. (1957) Sur deux processus d'éffrondement karstique. Ann. Spél. XII, F. 1-4, S. 19-46

Renault, Ph. (1958) Eléments de spéléomorphologie karstique. Ann. Spél. XIII, F. 1-4, S. 23-48

Renault, Ph. (1959) Effondements karstiques. Les travaux de Joaquin Montoriol Pous. Ann. Spél. XIV, F. 1-2, 253-259

La grutad de Los Brejôs, Localización y vias de Acceso

Sociedade excursionista e Espeleologica (Ouro Prêto/ Brasilia)

La gruta esta situada en la Sierra de las Araras(ou de los remédios), en el paredón de la margem izquierda del cañon formado por el rio Jacaré (ou Roman Gamacho), próxima a la divisa del município del Morro do Chapéu en el de Irecê y aproximadamente a 60 Km al nordeste de esta ciudad.

Podemos llegar a la gruta a partir de Feira de Santana, ou pasando por jacobina ou yendo hasta Morro do Chapéu.

Informaciones son facilmente conseguidas en la regiôn, pero aconsejamos el trayecto via Jacobina, porque las condiciones de tráfico de esta carretera son mejores.

La mejor época para visitarse a la gruta es la ecompreendida entre los meses de mayo y agosto, época en que las lluvias son pocas y las carreteras razonablemente transitables.

Geologia

Consideraciones Generales.

La Gruta dos Brejões, (Gruta de las Brechas), se situa en um calcário ceniciente azulado, correlacionado con el conocido en Minas Gerais como Calcário Bambuí.

Representa actualmente, con toda certeza, uno de los lechos fósiles subterraneos del Rio Jacaré que tuvo por lo menos um segundo, mas antiguo, en nivel superior, fijado en levantamientos topográficos en 1935 y 1936. Presentemente, las aguas do Rio desapareceu a 3,5 m abajo del muro ou piro de la gruta, bajo los escombros de blocos de las paredes y techo de la gruta.

Un hecho importante a ser resaltado, es la presencia de um tronco de cedro com mas de 50cm de diâmetro que yace a umas 40m de la boca de la entrada Norte, ou sea, a montante de la entrada e sumidouro do rio. La presencia de este tronco y blocos de Quartzito, aunque pocos, constatan que hasta algunos siglos otras, la gruta fue invadida por voluminoso caudal de água. Esto se justifica teniendo en vista la bifurcación en angulo recto existente a 150 m de la entrada. Debemos considerar que la presencia del cedro en la regiôn, segun el agrônomo INEMY NUNES DOURADO, de la Superintendência del Vale de São Francisco, no aperece en um râio de 60 km. En visita a las proximidades pudemos constatar la casi ausencia de suelo, uma vez que el mismo no llega a alcanjar los 2m. Esto viene a refazer nuestra opinião de que la regiôn estuvo bajo un regimen de lluvias intensas hasta alguns siglos atrás.

Desenvolvimiento de la Caverna.

La solubilidade del Calcário, es la primordial razôn del porque de la existencia de las cavernas. Cuanto mayor es el macizo, cuanto mayor es el desenvolvimiento de las cavernas porque tales camadasson practicamente impremiables alagua excepto en los planos de fractura y en los de Acamiamiento. Por otro lado, Calcários mas porosos, que oferecem pasada libre alagua en todas las direcciones, usualmente no desenvuelvan grutas ou "sinkkiles", excepto cuando la concentración de água esta localmente concentrada.

El principal constituente del calcario es le carbonato de cálcio, siendo que es aproximadamente necessario 75.000 pestos de água para disolver una parte de él. La agua carbonatada actuando sôbre el $CaCO_3$, da el bicarbonato ácido de cálcio $Ca(HCO_3)_2$. Este producto es 30 veces mas soluble que el carbonato de cálcio. Pero si el agua contiene algun gás carbônico disolvido, ella es aun mas soluble que el carbonato ácido de cálcio, gas carbônico que puede ser proveniente del aire e del suelo.

Tomemos un ejemplo bien estudiado: Mammoth Cave, USA. En esta regiôn, el aqua de lluvia que cae durante un año es capaz de dissolver, em un acre de tierra, 25 pies cubicas de calcario ou mas. Dicho en outras palabras, la lluvia caendo en esta regiôn es capaz de remover en disolucion facilmente un fo de espessura de calcario, en toda la regiôn, durante 2.000 años.

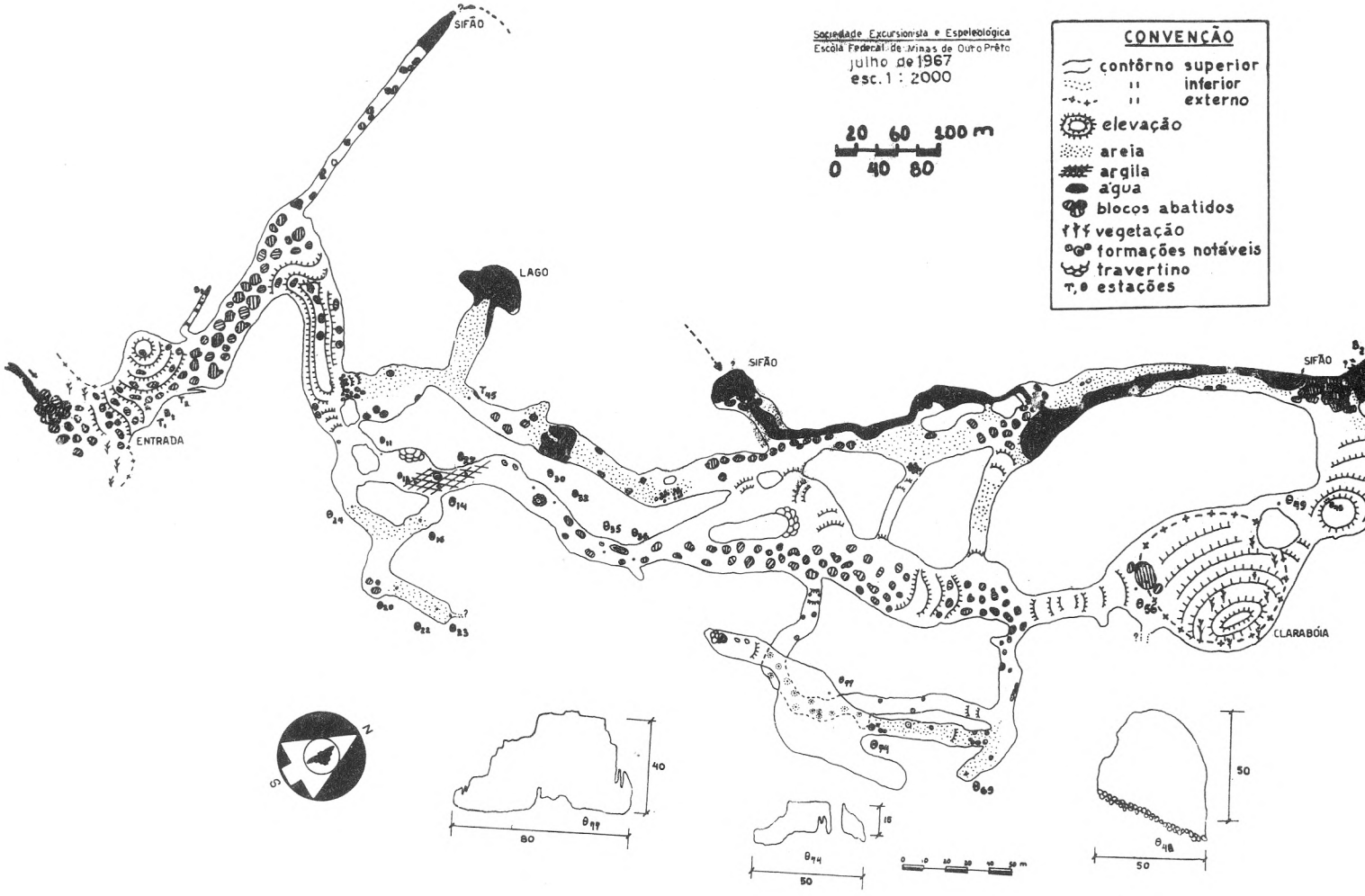
La concentración de agua en las calcarios se hace, primeiro a lo largo de las juntas ou fisuras; segundo, a lo largo del acamamiento. El agua se filtra al largo de estos lugares de mas facil percolación, cargando em disolución el calcáreo dissolvido. Al Princípio es um processo moroso. El água baja hasta encontrar uma camada impermeable que en el caso de la Brejões, se trata de um folhello, ou entonces hasta el lienzo freático que en tiempos pretéritos estaba mas alto que actualmente.

Una vez alcanzados los primeiros canales y pasajes, estas son alargados por la acción erosiva de el agua del mismo modo como en la superfície. Esto es aun facilitado por la presencia de siltos de las pastas superiorespara las inferiores. El material Arena - Siltoso puede venir de alguma camada de arenito de las adjacencias e tambien de la folhellos ademas de algun resíduo del propio calcario.

Geologia de la Gruta.

La Postura de las camadas no pasa de 7° NO y su dirección general es N.E. siendo portanto practicamente horizontal.
La entrada de la gruta obedece la linea N28°O mientras que las camadas ahi tienen N35° e G°NO. Poco adelante entre T_1 y T_2 hay

S 48/2



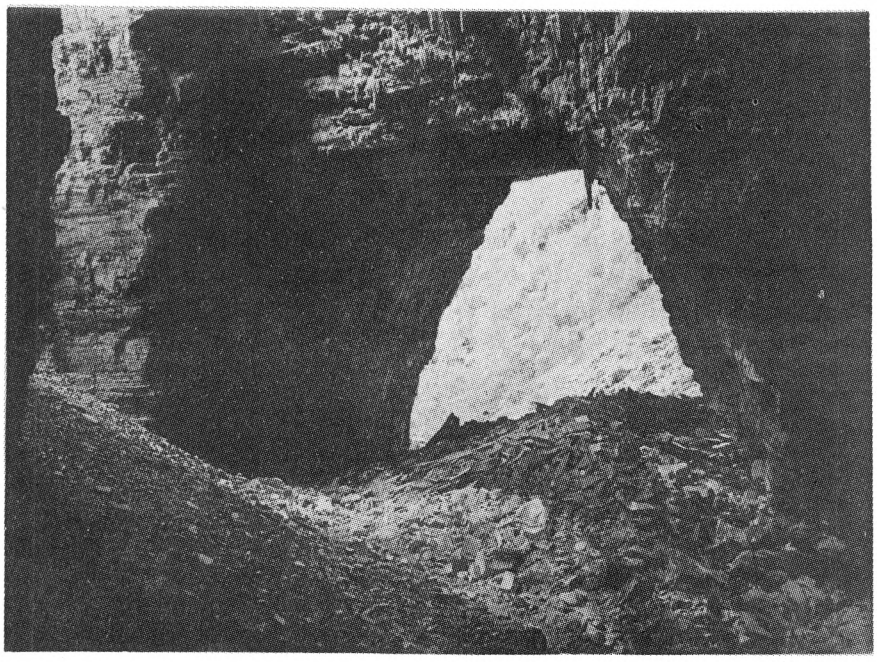


Abb.2: Altura visuel de la salida: 65 m
total de la misma: 96 ms.

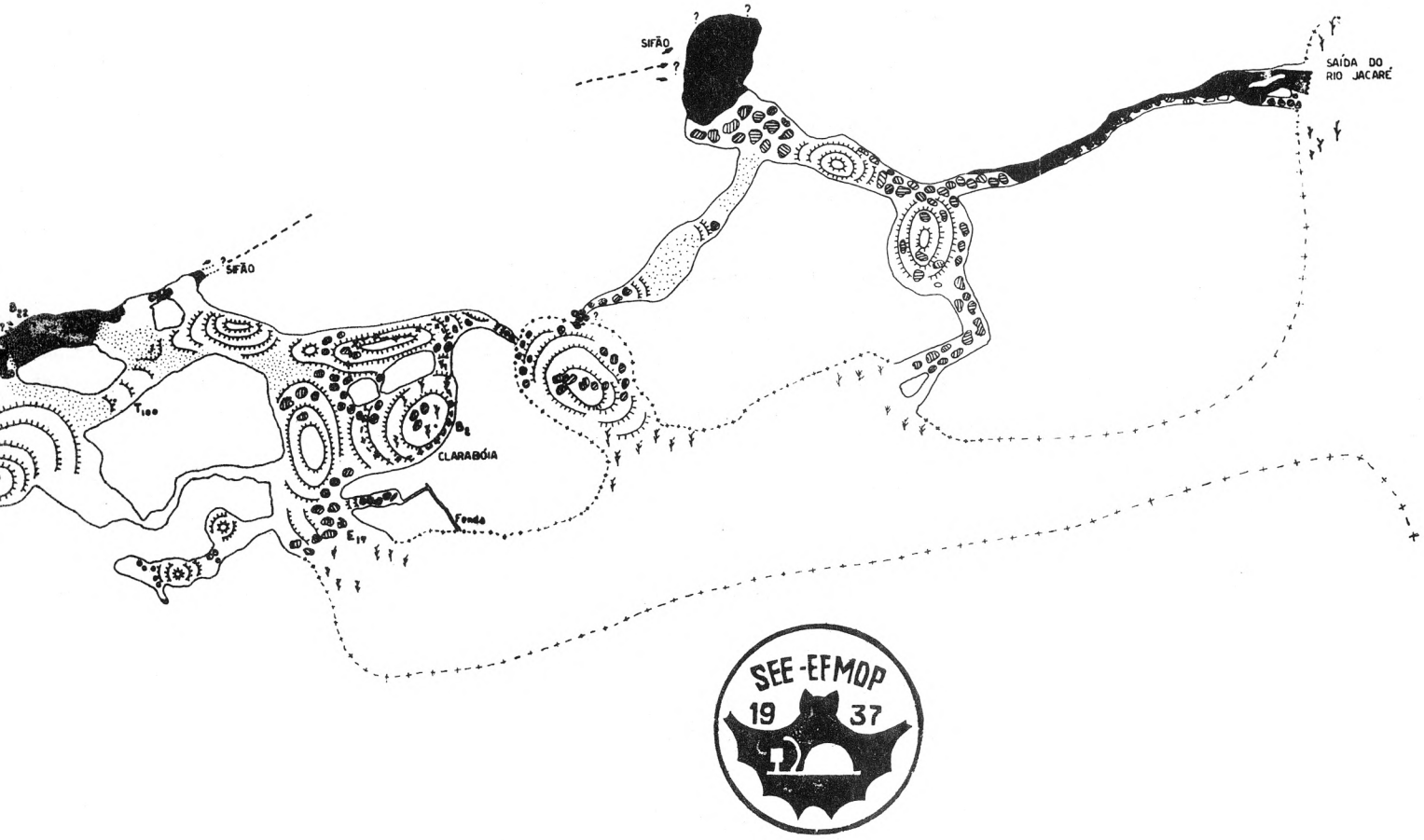


Abb.1: Höhlenplan

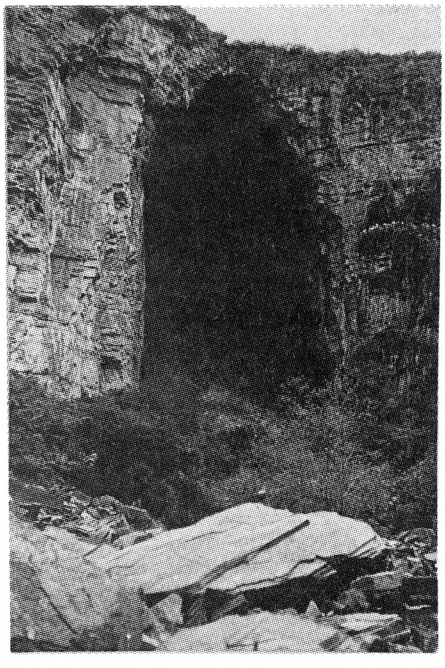


Abb.3: Altura de la bocca de entrada:
86 ms.

una pequeña galeria en cuyo nível inferior aparece um conglomerado de matriz siltico - arenosa con seixos de quartzo rolado - anguloso, silex, quartzito y calcario. Aunque ellas estan bien roladas es posible, desagregando- las notar formas de "crinkanter".

En las Vecindades de θ_{23} el fecho esta ligeramente recatado por vetas de calcita formando un reticula de losangular, con cristales subcentimetricos, claros pero no translucidos.

Entre θ 23 y θ 24, en grande cantidad aparece epsonita, sulfato de magnesio hidratado, formando una gran concentración de calcario, removido. Este material aparede principalmente llenando los vacios de los bloces grandes y esporadicamente. En la altura de θ 22 vamos encontrar un material mal selecionado donde vemos un material residual compuesto de epsonita, arena fragmetos de folleilo y muchas conchas minusculas, bien como huesos pequeños.

Cerca de E_4 notandose desde la pequeña galeria de E_4 hasta θ_{20} el material tiene consistencia y olor de huesas en descomposición ademas delguano.

Entre θ 16 - θ 23 vuelve a predominar en todo el piso de la galeria la concentración residual de epsonita.

Entre θ 13 - θ 11 se encuentra una grande formación de travestinas, las mas bonitas de la gruta, que dicho sea de pase son pocas. Es uma formación muy simétrica, presentando patamares de 2m. escalonados y alternadamente. Mas abajo de este travestino encontramos una superficie rugosa formando una rampa con travestinas pequeñas y dispuestas azimetricamente. Dicha rampa se suavisa en θ_{14}, donde se notan pequeñas estalactites y un gran estalagmito aun en formación. El lugar yas es ventilado pero con caracter humedo.

De θ 27 - θ 13 encontramos un residuo siltico-argiloso de material en decomposició del calcario. Temperatura de una 15°C, ventilada y en algumas puntas pequeñas e irregulares travestinas. Las camadas continuam con postura inicial variando apenas la dirección N30°E 6° NO.

A medida que avanzamosl los travestinas ceden lugar a las estalagtitas y estalagmitas, al principio interligando- se para despues separarse entre θ_{30} - θ_{32}- Apesar de esto, ahi surgen travestinas en formación. Estas crescen a lo ancho tamando la forma dunar.

El techo proximo a θ_5 - θ_{36}, se presenta con un desmoronamiento elíptico concentrico perfecto, dotandolo de um aspecto simple y emocionante. Fuera del tamanho de las galerias, la forma escalonada y alternada del gran travestino descrito entre θ_{11} - θ_{13}, es la unica cosa que impresiona.

Avanzando siempre llegamos a un travestino rugoso, grande, que escalado lleva a la claraboya. El techo ahi apresenta alguns estalactites bien grandes pero de poca belleza, mayormente del lado izquierdo. Contormando el referido travestino y siguiendo E_{11} - E'_{11}, mejor dicho, a la derecha entramos en una galeria bastante nueva en relación a la principal. El piso es de pequeña y rugosas travestinas con estalagmitas en formación. El techo es bien bajo y nos muestra lindas estalagtites. Es la parte mas caliente de la gruta. Deste local hasta la claraboya unos 350 m al frente tenemos un travestino tipo esponja con florescência a lo colifler. Es la parte mas calcica de la gruta siendo esto todavia colaborado por la presencia de pequeñas solares laterales con pequeñas estalactites, y con presencia de gipsita en alguns locales.

Entre θ_{74} - θ_{69} vamos a encontrar nuevamente la mistura de arena fina, pedazos de huesos fragmentos de conchas, epsomita y calcario residual can coloración amarillo claro. En θ_{74} encontramos gran cantidad de calcita "diente de Perro". Su superficie es en florescencia colifler, mientas que la parte inferior es de "diente de Perro".

El gran desmoronamiento que ocasiona la clara - boya, se encuentra entre θ_{56} e θ_{49}. Es talvez lo mas viejo de toda la gruta equivalente a una fractura de la antigua superfície fluvial que vino a comunicarse con el leche subterraneo formando una gran dolina. Las beradas destas dolinas estan totalmentecapeadas por estalagtites que solamente en un punto logre alcanzar la plataforma inferior.

El calcario se vuelve mas obscuro, continuando con su postura N40°E 7°NO diferindo poco de la descrita, asi como tambien los camadas centimétricas de folleilos continuam las mismas.

En E_{17} aparecen grandes sistemas de fracturamientos que ocasionaran el desmoronamiento de una antigua solida del Rio. En esta parte de la gruta el rio, serpentea por largas trayectorias ocasionando un valle extenso y ancho que se comunica can la actual y real solida del rio.

Conviene notar que a unos 3em de E_{17} vemos un bloco circular en forma de pilar caido, pero amparado en su parte inferior por una de las paredes de la galeria. Poco antes de este pilar y hacia la izquierda se encuentra la actual boca de entrada del Rio.

La conunicación con lasalida se hace externamente.

El potencial del Rio aumenta considerablemente pasando por galerias can coordenadas N30°E 5°NW. Despues de su salida extiendese un largo "cañon" de paredes poco altas, mas o menos dos veces el ancho que es de uns 60m, prolegandose por mas uns 68Km a la jusante.

Al regrese pasamos por la galeria todavia no visitada.

En T100 hasta T_{45} era encontramos el rio, uma vez que caminamos paralelo a él, e un aluvién y eluvién que consta de un material con granulación de arena gruesa y fina. Dicho material es constituido de arena, silte, fragmentos de folleile y algunos seixos de calcário.

Relatorio del equipe de Bioespeleologia

1.- Fauna

1) Troglóia . Los individuos troglobias son aquelles que vivem dentro de las grutas y ahi se reproducen.

A- Arthropoda

a) de la clase aracnidam orden Pedipalpos, Familia Frimus y todos de la misma especie, el Trichodaman princeps, fueram coletados y vistos en todo el percurso de la gruta, en bastante profusión.

B- Mamiphera

a) Ordem Quiroptera- fueran vistos pero no fue posible la captura de ningun murcielago.

2) Troglofila - Son individuos que puenden vivir ocasionalmente en grutas.

A- Gasteropoda

En la entrada de la gruta fueran encontrados vários reprensentantes de diversas famílias y san:

a) Ampullaridae - del genero Ampullaria, solo un ejemplar fue recolectado;
b) Pupidae- del genero Puppa es el de mayor ocurrência, habiendo sido encontrado también en outros puntos de la gruta;
c) Bulimulidae- del genero Bulimulus, fueron colectadas algumas;
d) Strophocheilidae- orden Pulmonata, colectados vários dela especie - Strepho cheilus oblongos.

B- Arthropoda

a) Orthoptera- grillo - en toda la extención de la gruta fueran vistos y colectados especies de la Família Raphidopheridae, família Tettigonioidea;

b) Aracnida - Opiliões - fueran vistos y colectados tambien en toda la extención de la gruta. Por falta de literatura especializada no nos fue posible determinar la especie.

C- Mamiphera

Debido al gran desmoronamiento de la gruta, principalmente en la entrada, fue posible llegar casi al techo, faltando para tocá-le unos 2m.

a) Rodhentia - En la Estación B_3, presos al techo y misturadas en um arenito de cemento calcífero, encontramos grande profusión de huesos, todas de roedores; ordem rodhentia, família Caviidae de las generas Hydrocherus sp C Capivara, principalmente en las claraboyas encontramos huesas de cutia, que alli deben haber caído. Também en la entrada de la gruta encontramos uma mandíbula provablemente de anta, família Tapiridae.

Cerca de la entrada de la gruta mas o menos a unos 50m en el interior, B_2, hay grande acumulo de focos de roedores, lo que evidencia le grau profusión de esos animales en aquellas paragenes.

b) Carnivora - In B_{22} y B_{27} fueran encontrados restos de animal de la família Felidas, espécies Leopardus pardalis (jaguatirica) siendo que en B_{25} el animal murio hacia poco tiempo estando en inicio de putrefación.

Justificase la presencia de esos animales por causa de los roedores (cutia y paca) en la gruta y por su descomunal abertura. Las Jaguatiricas entraram provablemente tras de los roedores, quedandose despues presas por la obscuridad y muriendo.

D - Reptilea

Esqueletos de cobras fueron encontrados en la entrada de la gruta y en las claraboyas. No fue posible su determinación debido a la falta de cabeza.

E - Ave

Cerca de la primeira claraboya fueron encontrados restos de un especime de la ordem Falconiforme, sub orden Cartates. No fue posible determinar la especie del gallinazo, pero este debe haber sido atraido por alguno de los animales en putrefación, já citados.

II.- Flora

En las claraboyas existen verdaderos casis em vegetación, predominando essencialmente os dicotiledonias . Aunque estan situados en el interior de la gruta, debido a la situación de haber sido encontrados en las claraboyas solamente, es una flora epigena. Se diferencia de la Flora epigena del exterior dela gruta debido a la mayor exuberancia de las arbores lo que se explica por la mayor humedad alli existente.

Topografia

Notable por su dimenciones, tanto horizontales como verticales, la gruta no apresenta grandes problemas para sua levantamiento topográfico. Este fue hecho utilizandose brujulas y trenas de 20 m. Se tento hacer su nivelamiento con altimetro, pero fue

abandonade despues de algum tiempe, ya que los errores que estraban siende cometides eram greses.

El pise de la gruta es casi totalmente cubierte de gran quantidad de fragmentes de calcarie, despendides del teche y de les paredes. En algunes puntes encentrames grandes abatimientes y en eutres arena y arcilla que fueran marcades en el mapa.

La falta de um conecimiente previe de las demensiones y configuración de les salenes de la gruta, tiene nuestre servicie pece eficiente y can algumas fallas.

Metereelegéa

La región en la cual se encuentra la gruta, puede ser encuadrada en el clima árido le que ecasienará, portante, grandes variaciones de temperatura del dia para la neche. Estas varaciaenes se reflutiran en el interier de la gruta per una tentativa de equilíbrie entre la temperatura exterier y la interier, prevecande grandes mevimientes de aire. Además de ese tendremes el rie empesandese en grandes lages que tendran tambien una marcada influência.

Debide a la corriente de aire, a veces bien fuertes, tendremes en el interier de la gruta, locales dende la humedad relativa del aire atinge valeres muy bajes, en terne de 60%.

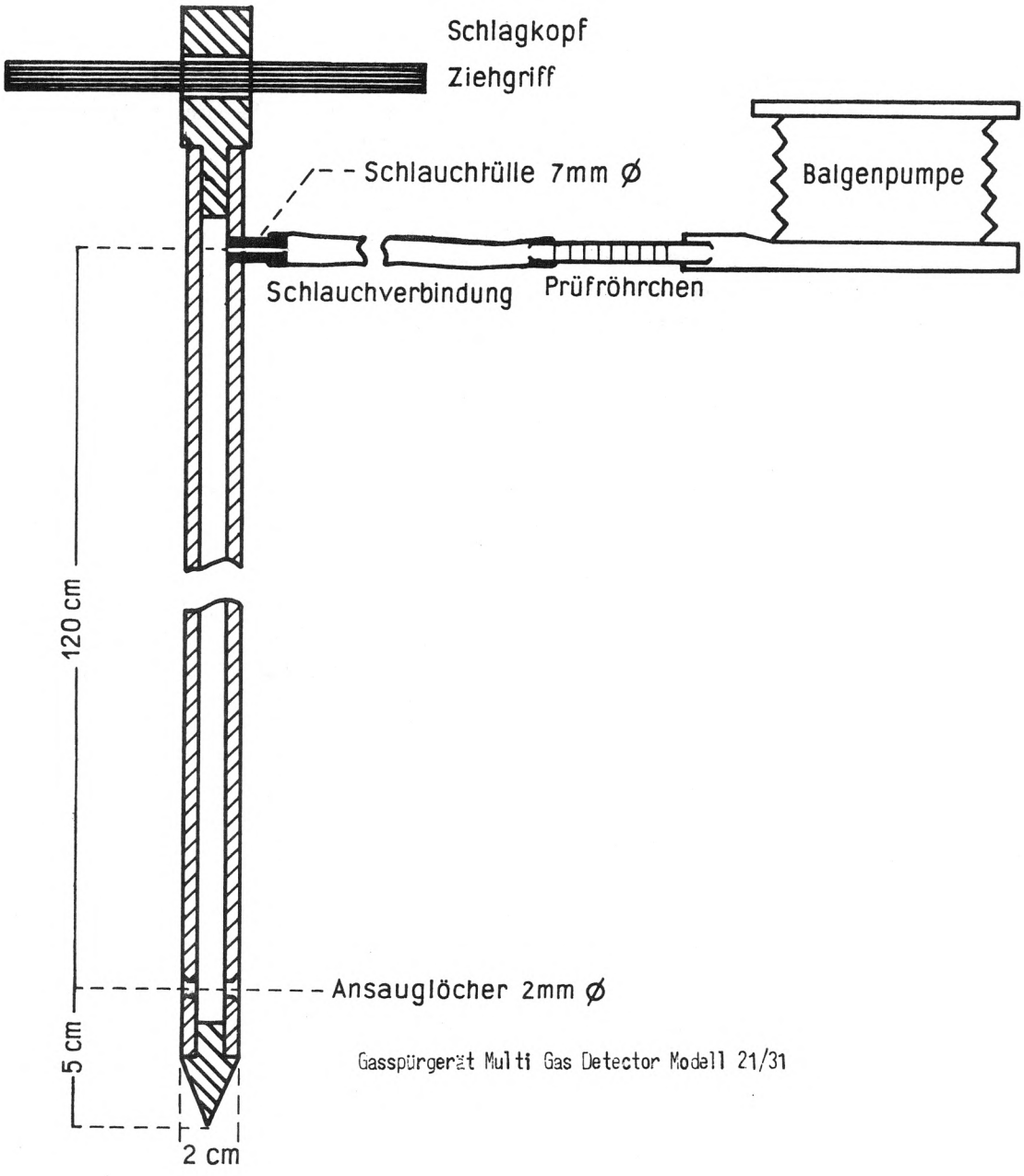
Un penta netable fue encentrade, dende una massa de aire relativamente grande, está aprisienade. Este punte tiene una temperatura de 21,3°C cen una humedad relativa de 99%.

Fueran usades termómetres al decime de grade centigrade.

Der CO_2-Gehalt der Bodenluft in Spitzbergen

Messergebnisse und Untersuchungsmethode

GÜNTER NAGEL (Frankfurt am Main/ Bundesrepublik Deutschland)



Gasspürgerät Multi Gas Detector Modell 21/31

Das Ausmass der Kalklösung und die an fast allen Gesteinen wirkende Lösungsverwitterung wird neben anderen Ursachenkomplexen durch die Lösungsfähigkeit der angreifenden Wässer bestimmt. Die Agressivität eines Wassers ist u. a. von der Dissoziation der Kohlensäure abhängig. Nach dem Gesetz von "Henry - Dalton" ist die Löslichkeit des Kohlendioxids im Wasser dem Partialdruck des Gases in der Luft proportional, und zwar gilt nach F. TROMBE (1952):

CO_2 gelöst = L x p x 1,964

L = Austauschfaktor

p = CO_2-Partialdruck

Die nach dieser Formel berechneten Werte für gelöstes CO_2 beziehen sich auf einen Gleichgewichtszustand. Damit dieser erreicht werden kann, muss die Voraussetzung gegeben sein, dass die Kontaktzeit zwischen Gas und Wasser genügend gross ist, das heisst, dass sie der Diffusionsgeschwindigkeit entspricht.

Da man annehmen muss, dass nur das im Boden versickernde und zirkulierende Wasser in genügend langem Kontakt mit Luft steht, ist der CO_2-Gehalt der Bodenluft für die quantitative und qualitative Beurteilung der Lösungsvorgänge von besonderer Bedeutung.

Im Gegensatz zu dem auf Kalkgesteinen oberflächlich abfliessenden Wasser, treten selbst bei starken Niederschlägen während des Vorgangs der Versickerung nur relativ geringe Geschwindigkeiten auf. Nach SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (1960, 161) "schwankt die Permeabilität der Böden bei vollständiger Füllung der Poren mit Wasser zwischen 0,1 und 20 cm/h". Ist der Anteil der Korngrössen 20 µ im Boden grösser als 50 %, was für die meisten Böden auf Kalksteinen zutrifft, so kann die Permeabilität auf unter 8 cm/Tag absinken.

Leider finden wir heute in der Literatur nur wenige vergleichbare Werte von CO_2-Messungen in der Boden- oder Höhlenluft. (WALTER, H. 1962 - VEIT, U. 1961 - MIOTKE, F.D. 1968).

Da mit dem Gasspürgerät der Firma Dräger, das noch eingehend beschrieben wird, seit einigen Jahren eine hinreichend genaue und einfach durchzuführende, von persönlichen Fehlern weitgehend unabhängige Feldmethode gegeben ist, begannen die Mitarbeiter des Geographischen Institutes in Frankfurt 1967 mit der systematischen Untersuchung der CO_2-Gehalte der Bodenluft. Neben den hier von A. BÖGLI und vom Verfasser veröffentlichten Messungen hat A. GERSTENHAUER (1969) an vier stellen im Rhein-Main-Gebiet unter verschiedener Vegetation den Jahresgang des CO_2-Gehaltes im Boden bestimmt. Ebenfalls ganzjährige Messreihen hat der Verfasser an sechs verschiedenen Orten im Fränkischen Karst im Sommer 1969 abgeschlossen. Weitere Messungen werden im Südalpen- und Mittelmeerraum von H. LEHMANN, F. FUCHS und K. H. PFEFFER zur Zeit durchgeführt.

Unser Ziel ist es, vergleichbare Messreihen von möglichst vielen Klimagebieten zu erhalten, denn der CO_2-Partialdruck und die Grösse des Austauschfaktors (vgl. Gleichung 1 die Faktoren p und L) werden in erster Linie durch das Klima bestimmt.

Der Austauschfaktor L ist eine von der Temperatur abhängige Grösse, die, wie aus der Tabelle ersichtlich, mit steigender Temperatur abnimmt.

Tabelle 1
Der Austauschfaktor L als temperaturabhängige Grösse
(nach F. TROMBE, 1952)

t °C	0	5	10	15	17	20	25	30
L	1,713	1,424	1,194	1,019	0,958	0,878	0,771	0,665

Beispiel:

1. 0,02 % CO_2 in der Luft 0,0002 at Partialdruck

1.1 t = 10° L = 1,194 (F. TROMBE, 1952)

CO_2 gelöst = 0,0002 x 1,194 x 1,964 = 0,47 mg/l

1.2 t = 20° L = 0,878

CO_2 gelöst = 0,0002x 0,878 x 1,964 = 0,35 mg/l

Die Rechnung zeigt, dass bei einem gleichen CO_2 - Angebot von 0,02 % schon eine Temperaturerhöhung von 10° genügt, um die Menge an gelöstem CO_2 zugunsten des "kühleren Klimas" zu verschieben.

In entgegengesetzter Richtung wirkt sich das Klima hinsichtlich des CO_2 - Partialdruckes (Faktor p) aus. In warm-humiden Klimaregionen ist, verursacht durch die grosse Aktivität des organischen Lebens, besonders im Boden die Produktion von biogenem CO_2 wesentlich höher als die in kalten oder kühl - gemässigten Klimabereichen. Aus diesen Überlegungen ergab sich die Fragestellung für meine CO_2 - Messungen in Spitzbergen anlässlich der Spitzbergen-Expedition 1967, die unter Leitung von Prof. Büdel durchgeführt wurde.

Die Messergebnisse sollten zur Klärung der Frage beitragen, ob die allgemein angenommene niedrigere CO_2 - Produktion in kalten Klimaten durch die höheren Austauschfaktoren hinsichtlich der Lösung von CO_2 im Wasser kompensiert werden kann.

Durch die grosszügige Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft war es mir möglich, ein CO_2 - Messgerät der Firma Dräger anzuschaffen. Ich möchte an dieser Stelle der Deutschen Forschungsgemeinschaft für ihre Sachbeihilfe danken.

Messgerät und Messmethode

Gaspürgerät Multi Gas Detector Modell 21/31
Herstellerfirma : Drägerwerk Lübeck

Die Balgenpumpe des Gerätes saugt pro Hub 100 ml Luft durch ein Prüfröhrchen. Die Anzeige im Prüfröhrchen beruht auf der Reaktion des Kohlendioxids mit Hydrazin, dessen Verbrauch durch einem Indikator angezeigt wird, der sich von farblos nach Blauviolett verfärbt. Die Länge der Farbzone ist das Mass für die Konzentration des Gases.

Da es sich um eine stöchiometrische Anzeigereaktion handelt, müssen wir bei der Auswertung unserer Messungen voraussetzen, dass bei gleicher Anzeige selbst bei verschieden hohen Luftdrucken - Z.B. unterschiedliche Höhenlage der Messorte - die gleiche Anzahl Moleküle bzw.
MOL CO_2 - Gas mit Hydrazin reagiert haben.
Für CO_2 - Messungen stehen Prüfröhrchen folgender Messbereiche zur Verfügung :

0,01 - 0,3 Vol%, 0,1 - 1 Vol%, 0,5 - 10 Vol%, 1 - 20 Vol%, 5 - 60 Vol%.

Die Eichung der Prüfröhrchen in Vol% gilt für einen Druck P = 1 atm. Der abgelesene Wert (M) entspricht unter Normalbedingungen den Volumenprozenten :

(1) $M = Vol\ \%$

Der Partialdruck Pt eines Gases errechnet sich nach der Gleichung

(2) $$P_t = \frac{Vol\%}{100} \cdot P$$

(3) $$P_t = \frac{Vol\%}{100} \quad \text{oder} \quad P_t = \frac{M}{100}$$

Daraus folgt für den Fall P = 1 atm

Die Volumenprozente für den Gasanteil des CO_2 errechnen sich nach :

(4) $$Vol\ \% = \frac{V_{CO2}}{V_{ges}} \cdot 100 = M$$

Einem bestimmten Ablesewert (M) entsprechen unabhängig von Druck und Temperatur immer die gleiche Anzahl n Mol CO_2 Gas (Stöchiometrische Anzeigereaktion) in der durch die Abmessungen des Gerätes bestimmten Prüfluftmenge (V_{Ges}) .

Das Volumen V_{CO_2} , das n Mol eines Gases einnehmen, ist aber - entsprechend der idealen Gasgleichung - abhängig von Druck und Temperatur.

(5) $$P.V = n.RT \text{ oder } V = n.R.\frac{T}{P}$$

Für das Volumen von n Mol CO_2 gilt nach dem Gesetz von Avogadro bei P = 1 atm und T = 273,2°K

(6) $V_{CO_2} = n \cdot 22{,}4$

Für den Druck P' und die Temperatur T' bei n = konstant gilt nach den Gesetzen von Boyle, Charles und Gay-Lussac :

(7) $V'_{CO_2} = n \cdot 22{,}4 \cdot \frac{T'}{273} \cdot \frac{1}{P'}$

nach Einsetzen von (6) :

(8) $V'_{CO_2} = \left[V_{CO_2} \cdot \frac{T'}{273} \cdot \frac{1}{P'} \right]$

Die entsprechenden Volumenprozente für V'_{CO_2} werden nach (4) berechnet und man erhält durch Einsetzen des Klammerausdruckes aus (8) :

(9) $\text{Vol \%} = \frac{V_{CO_2} \cdot 100}{V_{Ges}} \cdot \frac{T'}{273} \cdot \frac{1}{P'}$

Durch Umformen nach (1) und (4) erhält man :

(10) $\boxed{\text{Vol \%} = M \cdot \frac{T'}{273} \cdot \frac{1}{P'}}$

Mit dieser Formel können durch Umrechnung aus dem abgelesenem Wert (M) die Vol % für alle von den Normalbedingungen abweichenden Verhältnisse ermittelt werden.

Die entsprechenden Partialdrucke lassen sich nach Einsetzen von Formel (10) in (2) errechnen :
Für den Druck P' und Temperatur T' gilt :

(11) $P_t' = \frac{M}{100} \cdot \frac{T'}{273} \cdot \frac{1}{P'} \cdot P'$

(12) $\boxed{P_t = \frac{M}{100} \cdot \frac{T'}{273}}$

Für Temperaturen zwischen -10°C und +30°C ergeben sich Korrekturfaktoren zwischen 0,96 und 1,1 . Diese Temperaturkorrektur kann vernachlässigt werden, da sie bereits in der Fehlergrenze des Gerätes und der Messmethode liegt. Sie ist für unsere Fragestellung praktisch nicht mehr von Bedeutung, es genügt die Formel

(13) $\boxed{P_t = \frac{M}{100}}$

Verursacht durch die höhere CO_2 - Konzentration in der Bodenluft gegenüber der bodennahen Luft und der freien Atmosphäre, entsteht ein nach oben gerichteter Diffusionsstrom. Er ist abhängig vom Konzentrationsgefälle, der Bodenstruktur, dem Wassergehalt des Bodens und schliesslich auch von der Art und Dichte der Pflanzendecke. Da das CO_2-Gas von den Hauptbestandteilen der trockenen Atmosphäre das grösste spezifische Gewicht besitzt, wirkt dem nach oben gerichteten Diffusionsstrom die Schwerkraft entgegen.

Wir mussten daher bei der Entwicklung unserer Messmethoden davon ausgehen, dass innerhalb eines Bodenprofils Konzentrationsunterschiede auftreten, die, wie ich schon bei Vorversuchen feststellen konnte, bei steigender CO_2-Konzentration mit zunehmender Bodentiefe in einigen Profilen den Faktor Zehn überschritten.

Diese Erfahrungen und die schon aus der Bodenkunde und der Botanik bekannten, hier nur kurz skizzierten Zusammenhänge, erfordern für eine Interpretation des CO_2 - Haushaltes im Boden Messungen in verschiedenen Tiefen innerhalb eines Bodenprofils.
Bei einem klar erkennbaren Horizontaufbau des Bodens sollte in jeder Schicht eine Messung vorgenommen werden oder in

möglichst regelmässigen Abständen. Ein ideales Messprofil sollte die nach der Tiefe hin zunehmende Konzentration bis zur Überschreitung des Maximums und die folgende Konzentrationsabnahme wiedergeben oder das anstehende Kalkgestein erreichen. Diese Forderungen können leider aufgrund der Bodenbeschaffenheit, der Wasserverhältnisse und der Bodenmächtigkeit nicht immer erfüllt werden.

Für die Bodenluftentnahme habe ich eine aus Stahlrohr gefertigte Sonde entwickelt, die sich relativ leicht in jeden Boden einschlagen lässt (Abb. 1) und die wir bei unseren bisherigen Messungen mit gutem Erfolg verwendet haben. Die Ansauglöcher wurden seitlich und nicht an der Spitze der Sonde angebracht, um zu erreichen, dass die Luft möglichst nur aus einem bestimmten horizontalen Bodenbereich angesaugt wird. Die Bohrungen wurden sehr klein gehalten (2 mm ⌀) was zur Folge hat, dass ein relativ konzentrierter Sog entsteht, der einen horizontal gerichteten Luftstrom begünstigt.

Die Messungen werden im Profil von oben nach unten durchgeführt. Vor jeder Messung werden, entsprechend den Abmessungen der Geräteeinheit (Saugleistung pro Hub = 100 ml, Luftvolumen der Sonde 250 ml) drei Hübe mit der Balgenpumpe ausgeführt, um die "Falschluft" abzusaugen; danach wird erst das Prüfröhrchen angeschlossen.

Die Messergebnisse zeigen bereits sehr deutliche Unterschiede in der CO_2-Konzentration bei einer Differenz der Messtiefen von nur 10 - 15 cm (vgl. Messtelle 1). Das weist darauf hin, dass die angewandte Methode unsere Anforderungen weitgehend erfüllt.

F. D. MIOTKE (1968, 142) hat bei seinen Untersuchungen in Nordspanien "in Bodenlöchern verschiedener Tiefen, die längere Zeit vorher geschlagen und abgedichtet wurden, durch Einführen einer Prüfröhre, die am Ende eines Schlauches befestigt war, den CO_2-Gehalt bestimmt" und hat dabei Werte bis zu 16 % festgestellt.

Durch diese Messanordnung soll wohl erreicht werden, dass sich in dem Bohrloch eine repräsentative Gaskonzentration einstellt. Dem muss aber entgegen gehalten werden, dass das CO_2-Gas aufgrund seines relativ hohen spezifischen Gewichtes sich in dem künstlichen Hohlraum ansammeln wird und gegenüber den natürlichen Verhältnissen stark erhöhte Gaskonzentrationen auftreten.

Messergebnisse

In den folgenden Tabellen ist der unmittelbar an den Röhrchen abgelesene Wert M in Volumenprozenten angegeben. Eine Korrektur erwies sich aus den schon dargelegten Gründen als nicht notwendig, zumal die Luftdruckschwankungen während der Messungen äusserst gering waren.

Messtelle 1

Lokalität: Edge Insel, Strandvorland südlich Kap Lee - 25 m ü.NN

Vegetation: Moostundra - Bedeckung 100 %

Boden: Moder-Ranker auf marinen Sedimenten - Entwicklungstiefe 5 - 8 cm

Boden pH: 7,8

Bodentemperatur: +4°C Min., +8°C Max.

Auftauboden - Mächtigkeit: 40 cm.

(1) Mess Nr.	(2) Datum	(3) Uhrzeit	(4) T°C	(5) %CO_2 Atmosphäre	(6) % CO_2 - Bodenluft Messtiefe unter Oberfläche cm 5	20	25
1.1	17.7.68	9.30	+2,8	0,01	0,01	0,04	0,03
1.2	17.7.68	13.30	+3,4	0,01	0,02	0,05	0,04
1.3	17.7.68	18.50	+4,4	0,01	0,02	0,06	0,05

Messtelle 2

Lokalität: Edge Insel, Hangfuss eines Basaltrückens südlich Kap Lee 30 m ü.NN

Vegetation: Moostundra, 70 % Bedeckung

Boden: Rohboden auf ungeregeltem Hangschutt, Basalt-Tonschiefer - Arkosen und Mergel

Boden pH: 7,8

Bodentemperatur: +1,5°C Min., +4°C Max.

Auftauboden - Mächtigkeit: 32 cm

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) 5	20	25
2.1	26.7.68	9.00	+3,0	0,01	0,02	0,04	0,07
2.2	26.7.68	14.00	+3,0	0,01	0,02	0,04	0,07
2.3	26.7.68	19.30	+2,5	0,01	0,02	0,04	0,08
2.4	26.7.68	24.00	+1,5	0,01	0,02	0,04	0,09

Messtelle 3

Lokalität: Barents-Insel, Talavera unterhalb der Steinburg 20 m ü.NN

Vegetation: Moostundra 100 % Bedeckung

Boden: Rohboden auf ungeregeltem Hangschutt

Boden pH: 8,0

Bodentemperatur: +2°C Min., +4°C Max.

Auftauboden - Mächtigkeit: 35 cm

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) 5	10	15
3.1	14.7.68	21.00	+3,0	0,01	0,01	0,02	0,02
3.2	16.8.68	21.00	+4,0	0,01	0,01	0,02	0,03

Messtelle 4

Lokalität: Barents-Insel, Talavera, 40 m ü.NN

Messung: 4.1

Vegetation: Verrottete Moostundra am Rande eines Altschneefleckens, seit 6 Tagen schneefrei

Boden: Ranker auf Hangschutt

Boden pH: 8,0

Bodentemperatur: +0,5C

Auftauboden - Mächtigkeit: 25 cm

Messung: 4.2

Luftentnahme aus dem Altschneefleck

Schmelzwassertemperatur: +1°C

Schmelzwasser-pH: 7,2

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
					5	10	20
4.1	16.8.68	20.00	+0,4	0,01	0,01	0,02	0,04
4.2	16.8.68	20.00	+0,4	0,01	-	0,02	0,02

Die Unterschiede im CO_2-Gehalt in der freien Atmosphäre in den gemässigten Klimazonen - nach bisher vorliegenden Messungen 0,02 - 0,05% - und im Subpolargebiet Spitzbergens - 0,01 % CO_2 in der Luft - sind sehr gering. Dagegen treten erwartungsgemäss sehr grosse Unterschiede im CO_2-Gehalt der Bodenluft auf.

Die in Spitzbergen gemessenen Maximalwerte von 0,08 - 0,09 % CO_2 werden von den bis jetzt von mir in Franken gemessenen Werten um das 10-fache übertroffen. Rechnet man für diese Werte und die entsprechenden Temperaturen für den Gleichgewichtszustand Wasser/Gas nach dem oben angeführten Beispiel die im Wasser gelösten Mengen CO_2 aus, so ergeben sich folgende Relationen:

Spitzbergen

0,08 % CO_2 — 0,0008 at Partialdruck
$t = 5^0$ — L = 1.424
CO_2 gelöst = 2,24 mg/l
$t = 0^0$ — L = 1,713
CO_2 gelöst = 2,52 mg/l

Franken

0,8 % CO_2 — 0,008 at Partialdruck
$t = 17^0$ — L = 0,958
CO_2 gelöst = 14,84 mg/l

In der Diskussion um das Ausmass der Kalklösung in den verschiedenen Klimagebieten wird immer wieder auf den bei niedrigen Temperaturen höheren Austauschfaktor hingewiesen, wenn die Kalklösung in den kalten und kühl-gemässigten Klimagebieten hervorgehoben werden soll.

Vorliegende Berechnung zeigt aber, dass der höhere Austauschfaktor bei dem äusserst geringen CO_2-Partialdruck, wie er in Spitzbergen gemessen wurde, nicht mehr ausreicht, die CO_2-Produktion gemässigter Zonen, die hier durch das Beispiel von Franken vertreten werden, zu kompensieren. Aus diesem Grunde wird es notwendig sein, die u.a. von CORBEL angegebenen Werte für die Kalkabtragung in den arktischen und subarktischen Klimagebieten einer neuerlichen Überprüfung zu unterziehen. Weitere Schlussfolgerungen und vergleichende Interpretationen können erst gemacht werden, wenn aus mehreren Klimagebieten Ergebnisse von CO_2-Messungen vorliegen.

Literatur:

BÖGLI, A. 1956 — Der Chemismus der Lösungsprozesse im Karst. - Report of the Commission on Karst Phenomena IGU, New York

CORBEL, J. 1959 — Erosion en terrain calcaire, Ann. de Geogr. 68: 97 - 120

GERSTENHAUER, A. - PFEFFER, K.H. 1966 : Beiträge zur Frage der Lösungsfreudigkeit von Kalksteinen Abh. Karst - und Höhlenkunde, Reihe A, Heft 2, München 1966

GERSTENHAUER, A. 1969 : Offene Fragen der klimagenetischen Karstmorphologie. Der Einfluss der CO_2 - Konzentration in der Bodenluft auf die Landormung. Unveröffentlichtes Manuskript.

LÖTSCHERT, W. 1964 : Neuere Untersuchungen zur Frage jahreszeitlicher pH - Schwankungen. - Angew. Botanik 38

MIOTKE, F.D. 1968 : Karstmorphologische Studien in der glazialüberformten Höhenstufe der "Picos de Europa", Nordspanien. - Jahrb. d. Geogr. Gese. Hannover, Sonderheft 4

SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1960: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. 1. Teil.- Stuttgart

TROMBE, F. 1952 : Traité de Speléologie - Paris

VEIT, U. 1961 : Über jahreszeitliche Reaktionsschwankungen im Bodenkomplex unter besonderer Berücksichtigung des CO_2 - Faktors. - Beitr. Biol. Pflanzen 36

WALTER, H. 1962 : Die Vegetation der Erde. Jena

Informationsschriften herausgegeben vom DRÄGER-WERK LÜBECK :
Gasspürgerät Multi Gas Detector Modell 21/31 - Gebrauchsanweisung GB 2341
Dräger-Hefte 252/63, S. 16
Mitteilungen zum Dräger-Gasspürgerät M 60, M 15

DISKUSSION :

MIOTKE (Hannover) : Die von mir 1965 in den Picos de Europa (Nordspanien) gemessenen CO_2 - Werte der Bodenluft mit dem Dräger-Gasspürgerät wurden in abgedichteten Bohrlöchern verschiedener Tiefe gemessen, nachdem diese jeweils einige Wochen bis Monate zur Erreichung eines Gleichgewichtes mit der Bodenluft im Bohrloch verschlossen blieben. Die Werte stellen daher Durchschnittswerte eines längeren Zeitraumes dar. Ob diese Bohrlöcher als "CO_2-Fallen" fungieren, wie Herr Nagel sagte, müsste durch die parallele Anwendung beider Methoden zu prüfen sein, doch bin ich der Meinung, dass die Diffusion über längere Zeit einen genügenden Ausgleich (Gleichgewichtseinstellung) herstellt. Die von Ihnen in 5 cm Tiefe gemessenen CO_2-Werte könnten leicht durch nachgesaugte Luft der freien Atmosphäre einen zu niedrigen CO_2 -Gehalt vortäuschen. Haben Sie hierzu Versuche gemacht, diesen evtl. Fehler zu bestimmen oder auszuschliessen ?

NAGEL : Bedingt durch die differenzierten biogenen und physikalischen Eigenschaften der einzelnen Bodenhorizonte treten innerhalb eines Profils in der Vertikalen sehr unterschiedliche CO_2 - Konzentrationen auf. In einem Bohrloch, das mehrere Horizonte durchteuft, kann sich daher zwischen der Luft im Bohrloch und der Bodenluft kein Gleichgewicht, sondern allenfalls eine Mischkonzentration einstellen. Der im Boden nach oben gerichtete Diffusionsstrom des CO_2 ist durch die Abdichtung des Bohrloches unterbunden. Demzufolge wird sich durch die Einwirkung der Schwerkraft im unteren Teil des Bohrloches eine höhere Konzentration einstellen. Sie geben in Ihrer Untersuchung an, dass Sie Konzentrationen bis zu 16 % gemessen haben. Derartig hohe Werte sind meines Wissens weder in den feuchten Tropen, noch in stark gedüngten Kulturböden festgestellt worden. Daher nehme ich an, dass das Bohrloch eine CO_2-Falle darstellt. Sicherlich kann ich nicht ausscliessen, dass gerade in den ersten 5 cm meine Messungen etwas zu niedrige Werte ergeben.

CIGNA (Roma) : What is the volume of air used for the measurement of CO_2 concentration in air ? (Bögli : 1,000 ml)

NAGEL : Die Prüfmenge richtet sich nach der Verwendung der jeweiligen Prüfröhrchen, bzw. dem Messbereiche :

Messbereich	Prüfluftmenge
0,01 - 0,3 %	1000 ml
0,1 - 1 %	500 ml
0,5 - 10 %	100 ml

GEYH (Hannover) : Wie ist di Zunahme der CO_2 - Konzentration der Bodenluft in Spitzbergen während des Tages zu erckären und wie die Abnahme während der Nacht ?

NAGEL: Wahrscheinlich ist die unterschiedliche CO_2-Konzentration auch in Spitzbergen durch den Rhythmus des Pflanzenwachstums bedingt.

AUB (Arhus): I was very interested in this method since already in 1960-1962 I tried a similar method in Jamaica. The method was unsuccessful, since the holes were self sealing. What is your experience in soils rich in fine grain rizes?
Are attempts being made to apply this technique to the sampling of soil water?

NAGEL: Auch in Böden kleiner Korngrössen konnte die Methode durchgeführt werden, so lange ein Bodenvolumen im Boden vorhanden war und dieses nicht mit Wasser erfüllt war. Im Wasser ist diese Methode nicht anwendbar.

C. EK (Sprimont): Avec le type d'appareil que vous utilisez, des mesures en des lieux confinés (galeries étroites ou fissures dans des grottes) nécessiteraient l'emploi d'un masque à absorber de CO_2 (chaux sodée par example) sans quoi l'air expiré provoque des erreurs que j'ai pu mesurer. Certes dans les conditions de vos mesures, ce problème ne se pose évidemment pas.

J. CORBEL (Caluire): Nos mesures au Spitzberg-Ouest donnent ... résultat .. ordre de grandeur. Nous avons cherché des différences entre eau de fonte de neige et eau de fonts de glacier et nous n'avons trouvé que des valeurs très uniformes.

NAGEL: In Spitzbergen habe ich keine Untersuchungen an Wässern durchgeführt und kann daher zu Ihrer Bemerkung nicht Stellung nehmen.

Fissuration et orientation des cavités souterraines

Région de la Grotte de Milandre (Jura tabulaire)

LASZLO KIRALY, BERNARD MATHEY, JEAN-PIERRE TRIPET
(Université de Neuchâtel -Institut de Géologie
Centre d'Hydrogéologie / Suisse)

Résumé

Etude réalisée dans les environs de la grotte de Milandre (Nord-Ouest de la Suisse, bordure méridionale du Jura tabulaire); le but est d'étudier les relations entre l'orientation des galeries de cette cavité, et la fissuration des calcaires dans lesquels elle se développe. Les mesures de la fissuration sont faites en surface, selon une méthode d'échantillonnage précise. L'étude de l'orientation des cavités karstiques et de la fissuration est réalisée grâce à des méthodes statistiques, et par l'emploi de la projection stéréographique. On montre que la cavité est développée d'une façon anisotrope, et qu'il y a une relation entre ses directions principales et l'orientation des principaux groupes de fissures. Une interprétation génétique de cette relation descriptive est proposée : le degré de karstification est proportionnel au vecteur vitesse de filtration de l'écoulement souterrain. Ce vecteur est calculé dans les directions des principaux systèmes de fractures, et le résultat de ce calcul est en accord avec cette interprétation.

Abstract :

This study was made in the region of the Milandre Cave (North-Western Switzerland, southern edge of the tabular Jura); the aim is to study the relationship between orientation of the galleries of this cave and fractures of the limestones in which the cave was formed. Measurements of the fractures were made on the surface, using a fixed sampling method. The study of orientation of the karstic cavities and of fractures is achieved thanks to statistical methods, and through the use of stereographic projection. It is proved that the development of the cave is anisotropic, and that there exists a relationship betweem its main directions and the orientation of most important fracture systems. A genetic interpretation of this descriptive relation is proposed : the intensity of karstification is proportional to the vector velocity of the groundwater flow. This vector is computed in the directions of main fracture systems, and the result of this computation is in agreement with this interpretation.

1.- Introduction.

1.1 But de l'étude

Le but du présent travail est d'étudier les relations entre l'orientation des galeries d'une cavité souterraine, et la fissuration des calcaires dans lesquels elle se développe. Les étapes successives de l'étude sont les suivantes :

a.- On teste l'isotropie ou l'anisotropie de l'orientation des différents tronçons de la cavité karstique.
b.- On effectue la même opération sur les fissures de la roche dans les environs de la grotte.
c.- On compare la distribution des deux ensembles d'éléments étudiés sous a et b.
d.- On propose une interprétation génétique des analogies et des différences mises en évidence sous c.

L. Kiraly (1968) fait remarquer que l'on a souvent admis ou nié l'importance de la structure géologique pour l'orientation des cavités souterraines, sans toutefois se référer à une analyse structurale. Notamment, le terme de " cavité tectonique" est fréquemment utilisé d'une façon abusive par les spéléologues; impliquant une idée génétique, il est employé à tort pour nommer des phénomènes qui peuvent avoir des origines très diverses (mouvements tectoniques, relâchements de contraintes ou même dissolution par l'eau à partir de fissures); son usage est d'autre part motivé par des considérations en général trop subjectives.

L'analyse géométrique de l'orientation des cavités souterraines et des éléments de la structure géologique, opération descriptive, doit précéder l'interprétation génétique; celle-ci fait intervenir des processus tectoniques et hydrauliques. Telle est la démarche qui a été adoptée au cours de la présente étude.

1.2. Situation générale

Ce travail concerne les environs de la grotte de Milandre, cavité de l'Ajoie; l'Ajoie est une région naturelle du Nord-Ouest de la Suisse, en bordure méridionale du Jura tabulaire.

La grotte de Milandre se développe dans les calcaires sub-horizontaux du Rauracien-Séquanien, qui forment avec le Kimmeridgien, un complexe calcaire épais de 250 à 270 m (E. Erzinger, 1943).

Cette cavité est parcourue par une rivière souterraine.

En 1963, elle n'était connue que jusqu'à 550 m de l'entrée. Actuellement, grâce à plus d'une centaine d'expéditions menées par le Spéléo-Club Jura (section de la Société Suisse de Spéléologie), plus de 8 km de galeries ont été topographiés; le groupement spéléologique qui effectue ces travaux publie les compte-rendus de son activité dans un bulletin d'information, " Le Jura Souterrain". La situation et la description sommaire de la grotte sont données par E. Kloetzli (1969), et P. Vouillamoz (1969) cite brièvement les plus récentes découvertes faites dans cette cavité (développement : 8074 m. à fin 1968); le plan et la coupe de la grotte ont paru à la fin de cette dernière note; ce plan est produit dans le présent travail (figure 1).

2. Etude de l'orientation des galeries de la grotte

2.1. Relevé topographique souterrain

Le relevé topographique de la grotte a été fait dans des conditions très pénibles. La plupart du temps, les spéléologues travaillent dans l'eau, et l'emploi d'un équipement spécial (combinaisons isothermiques) est indispensable. La durée des expéditions de topographie était en générale d'une dizaine d'heures.

Chaque tronçon plus ou moins rectiligne de la cavité a fait l'objet d'une mesure (azimut, pente, dimensions) la technique du relevé a été décrite par E. Kloetzli (1968); notons que l'usage d'un magnétophone portatif a avantageusement remplacé le carnet de notes, vu les conditions particulières du milieu.

2.2. Méthodes d'élaboration des mesures

Tous les axes de galeries mesurés dans la grotte ont été reportés, avec indication de leur longueur, sur un diagramme de Schmidt (projection équi-surface) (pour les projections azimutales : équi-surface et stéréographique, voir A.B. Vistelius, 1966, ou L. Kiraly, 1969a, qui donne un très bref aperçu de la projection stéréographique).

Les 88% de la longueur totale des mesures ainsi représentées ont une pente inférieure à 10° (Tableau 1).

Tableau 1

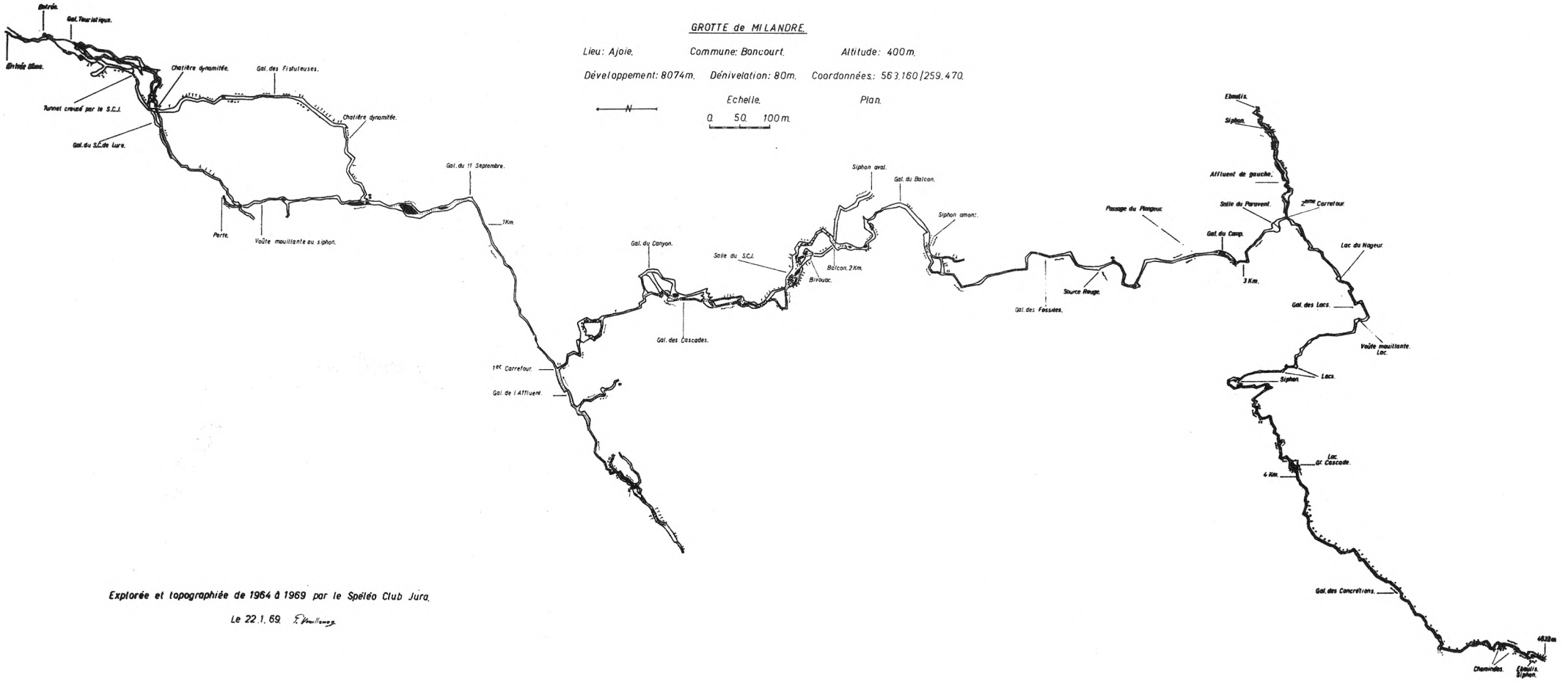
Pente des axes	Longueur totale (en mètres)	%
0 - 10°	9327	88,4
10 - 23°	783	7,4
23 - 90°	438	4,2
Total	10548	100,0

(Remarque : La valeur de 10548 m. est supérieure au développement total des galeries de la grotte, car dans la projection utilisée, les éléments linéaires horizontaux ont un poids double).

Dans la suite de l'étude, il n'a été tenu compte que de cette concentration d'éléments voisins de l'horizontale; les axes de pente supérieure, répartis dans divers azimuts, ont été négligés. Une autre simplification a consisté à ramener à l'horizontale toutes les mesures prises en considération; ceci est destiné à faciliter la comparaison entre la distribution de l'orientation des galeries et des fissures, et sera sans conséquence sur l'interprétation finale.

Il reste donc à étudier la répartition directionnelle d'éléments linéaires (axes de galeries) horizontaux, compte tenu de leur longueur. L'anisotropie de la distribution de l'ensemble de ces individus est testée grâce à une méthode décrite par A.B. Vistelius (1966, p. 99).

Ces axes horizontaux ont leurs pôles répartis sur le cercle équatorial, en projection azimutale. Chaque pôle est affecté d'un poids égal à la longueur de son axe en mètres, afin qu'il soit tenu compte de cette longueur. On pose l'hypothèse de base que ces individus sont orientés dans l'espace d'une façon arbitraire, sans aucune tendance préférentielle; la distribution pondérée des pôles sur le cercle équatorial est alors uniforme. En d'autres termes, le long de deux arcs du cercle équatorial d'angles au centre égaux, on comptera un nombre sensiblement égal d'éléments; si N est le nombre total d'individus, et que le cercle équatorial est divisé en K arcs égaux contenant chacun n_i éléments, la valeur de n_i est une variable aléatoire, pour laquelle on peut accepter une loi de distribution normale (A.B. Vistelius, 1966) autour de la moyenne $n = N/K$.



Explorée et topographiée de 1964 à 1969 par le Spéléo Club Jura.

Le 22.1.69. E. Paulsen

Fig. 1: Plan de la grotte de Milandre.

S 51/3

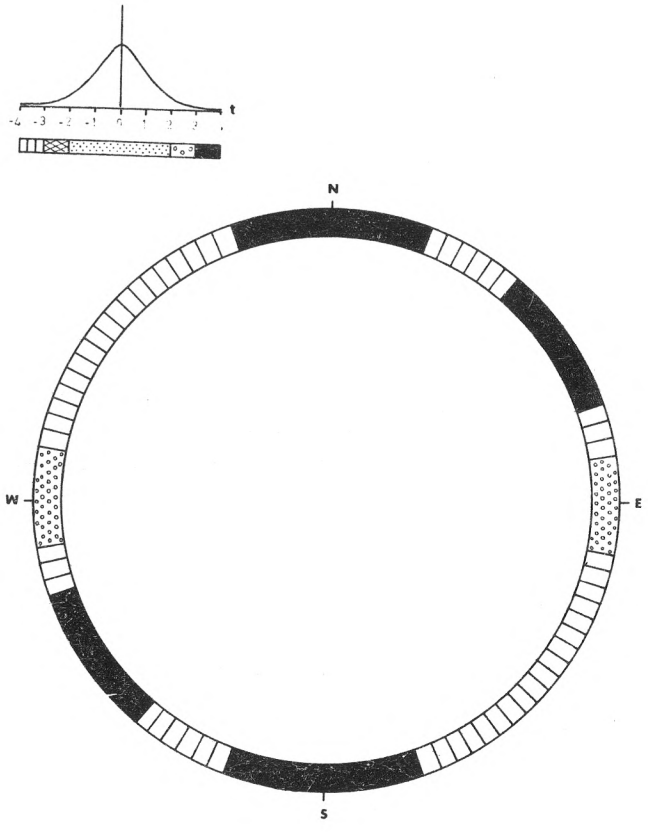


Fig.2: Distribution de l'orientation des galeries de la grotte. Représentation graphique des résultats du test de A.B. VISTELIUS.

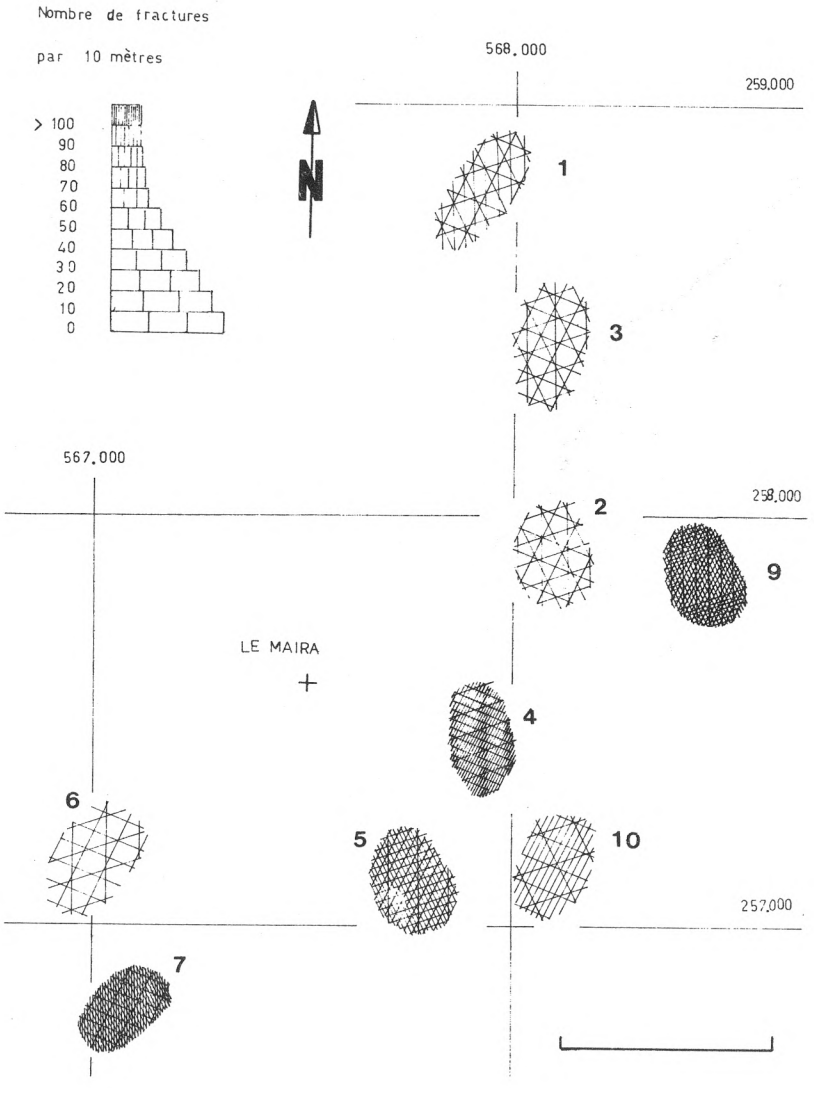


Fig.3: Répartition des stations de mesure en surface. Fréquence des systèmes de fractures I à V à chaque station.

A la station 9, le groupe V (fréquence >100) n'a pas été représenté pour des raisons de clarté. L'entrée de la grotte est située au point de coordonnées 568, 160/259, 470.

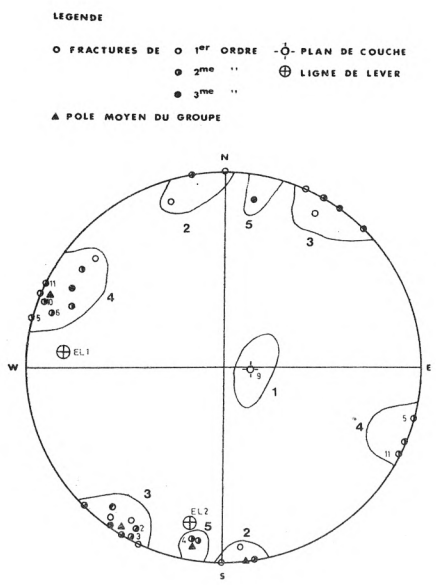


Fig.4:
Orientation des éléments structuraux mesurés à la station 4. Projection équi-surface, hémisphère supérieur. Les chiffres en petits caractères indiquent le nombre de fois où le pôle apparaît. Les chiffres en caractères gras indiquent les numéros d'ordre des groupes. Les deux lignes de lever sont notées EL 1 et EL 2.

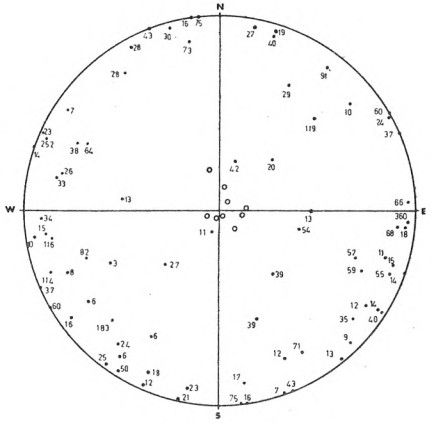


Fig.5:
Orientation des pôles moyens des groupes pour l'ensemble des stations de mesure. Projection équi-surface, hémisphère supérieur. Les points sont les pôles moyens des groupes de fractures, avec indication de leur fréquence par unité de 10 mètres. Les petits cercles sont les pôles moyens des plans de couches.

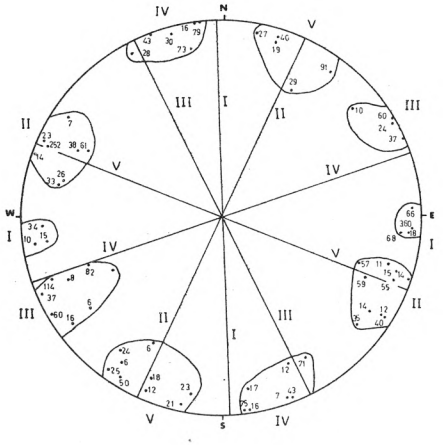


Fig.6:
Séparation des pôles moyens de la Figure 5 en groupes, numérotés de I à V. Projection équi-surface, hémisphère supérieur. Les pôles isolés sont éliminés. Les plans moyens approximatifs (verticaux) des cinq groupes sont représentés par leur projection.

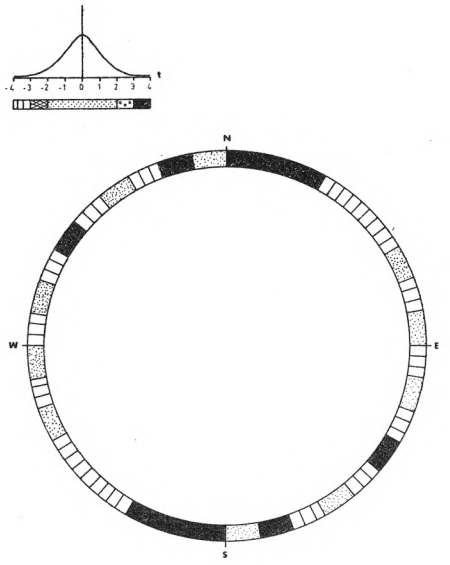


Fig.7:
Distribution de l'orientation des plans représentés par leurs pôles à la Figure 6. Représentation graphique des résultats du test de A.B. VISTELIUS, portant sur les intersections de ces plans avec les couches.

A.B. Vistelius (op. cit.) donne une formule qui permet de calculer la valeur des limites de confiance m_1 et m_2 pour les déviations de la variable n_i autour de sa moyenne n, telles que l'hypothèse de départ (isotropie de la distribution pondérée des pôles) puisse être acceptée comme vraie pour un intervalle de confiance donné .

On a : $$m = \frac{N(2n + t^2) \pm \sqrt{\left[t^4 N^2 + 4t^2 Nn (N-n)\right]}}{2(t^2 + N)}$$

où t est la variable réduite (déviation par rapport à la moyenne, exprimée en unités standard).

En appliquant ce test à l'échantillon considéré, et étant donné N = 9327 (= somme des longueurs de tous les axes), K = 18, n = 518, on a :

pour t = 2 (intervalle de confiance = 95,45 %):
m_1 = 564 (limite supérieure)
m_2 = 476 (limite inférieure)

pour t = 3 (intervalle de confiance = 99,73 %):
m_1 = 589 (limite supérieure)
m_2 = 456 (limite inférieure)

2.3. Présentation des résultats

Ceci permet de distinguer les groupements suivants dans la répartition pondérée des pôles (Figure 2):

1. Zones de dispersion, ou zone à densité anormalement faibles; n_i est inférieur à m_2 pour t = 3. On peut rejeter l'hypothèse d'une répartition isotrope, avec un niveau de signification de 0,27%.

2. Zone de transition entre la dispersion et la distribution isotrope; n_i est compris entre m_2 pour t = 3 et m_2 pour t = 2 . Cette zone n'est pas représentée ici.

3. Zone isotrope; n_i est compris entre m_2 et m_1 pour t = 2. On peut accepter l'hypothèse d'une répartition isotrope avec un intervalle de confiance de 95,45%. Cette zone n'est pas représentée ici.

4. Zones de transition entre la concentration et la distribution isotrope ; n_i est compris entre m_1 pour t = 2 et m_1 pour t = 3.

5. Zones de concentration ; n_i est supérieur à m_1 pour t = 3. On peut rejeter l'hypothèse d'une répartition isotrope, avec un niveau de signification de 0,27 %.

Cette distribution est représentée à la figure 2. On distingue deux directions de répartition concentrée de l'orientation des galeries de la grotte : L'une environ Nord-Sud, l'autre N 50° E. Dans la direction Est-Ouest, la répartition ne se distingue d'une distribution isotrope qu'avec un niveau de signification de 4,55 %; cette direction est cependant privilégiée, par rapport aux zones voisines qui sont "vides". Ces galeries orientées N 0° E, N 50° E et N 90° E sont d'ailleurs bien visibles sur le plan de la cavité (figure 1).

3.- Etude de la fissuration des calcaires

=.1. Mesures de terrain

L'étude de la fissuration est faite en surface. En effet, la méthode utilisée est quasiment inapplicable en caverne, où les fissures béantes sont généralement les seules visibles; les fissures fines, beaucoup plus nombreuses que ces crevasses, et qui jouent un rôle très important dans la circulation des eaux souterraines, sont masquées par les dépôts de surface de la roche, ou, si celle-ci est propre, par le poli dû à l'érosion mécanique et chimique.

La méthode utilisée pour les levers est décrite par L. Kiraly (1969b), d'après L. Muller (1963). Les stations de mesure, au nombre de 9, ont été choisies de façon à être uniformément réparties au-dessus de la cavité, et en fonction de la qualité des affleurements (Figure 3). En une station, une ou plusieurs lignes de lever sont définies et matérialisées par un ruban métrique; la direction et le pendage de tous les éléments plans (fractures ou plans de couches) coupant la ligne de lever, ainsi que la direction, la pente et la longueur de cette dernière, sont mesurés. L'orientation d'environ 550 éléments plans a été ainsi relevée.

3.2. Méthode d'élaboration des mesures

L'élaboration des mesures comprend les étapes suivantes :

A. Au niveau de la station

a- pour chaque station, les éléments plans mesurés (fractures et plans de couches) sont représentés

Par leurs pôles sur un diagramme de Schmidt (Projection équi-surface) (Figure 4).

b- Les accumulations de pôles plus ou moins unimodales sont séparées, sur ce diagramme.

c- Pour chaque accumulation, la position de la normale moyenne (représentée en projection par le pôle moyen), ainsi que la fréquence des plans (calculée sur la normale moyenne, et exprimée par unité de longueur de 10 mètres) sont calculées au moyen d'une technique mise au point par L. Kiraly (1969b), d'après E.A. Scheidegger (1965); les calculs ont été faits au moyen d'une calculatrice électronique (IBM 1130). Cette méthode donne une image correcte de la densité de chaque système de fractures, éliminant l'effet de l'orientation de l'affleurement.

B. Au niveau de l'ensemble de la région étudiée

d- L'ensemble des pôles moyens pour toutes les stations, est reporté sur un diagramme de Schmidt (Fig.5).

e- Sur ce diagramme, les accumulations de pôles moyens plus ou moins unimodales sont séparées. Par simplification, les pôles isolés, qui n'appartiennent pas à une concentration, sont éliminés (Figure 6).

f- Les accumulations de pôles moyens de la Figure 6 sont situées dans la zone équatoriale, et l'on peut considérer que le plan moyen de chacun de ces groupes est à peu près vertical; ces plans sont représentés d'une manière très approximative sur le diagramme de Schmidt (Chiffres I à V, Figure 6).

Le Tableau II donne la fréquence moyenne pour chacune de ces concentrations.

Tableau II

N°. du groupe	Fréquence moyenne (plans par 10 mètres)
I	82
II	44
III	36
IV	37
V	28

Ce tableau montre que les plus grandes fréquences se rencontrent dans les groupes I et II, et la plus faible dans le groupe V.

g- En raison de la nature des affleurements, les plans de couches étaient peu visibles; leur manque de netteté est la cause de la dispersion de leur orientation (Figure 5). On peut cependant les considérer à l'échelle de la région étudiée, comme horizontaux.

h- La dernière étape de l'élaboration des mesures consiste à étudier l'orientation des intersections de tous les plans moyens représentés par leurs pôles à la Figure 6, et dont l'ensemble constitue les groupes I à V, avec les plans de couches considérés comme horizontaux. Ces intersections sont des droites horizontales, dont on étudie la répartition directionnelle, compte tenu de la fréquence des différents systèmes de fractures. L'anisotropie de la distribution de l'ensemble de ces individus est étudiée de la même manière que celle des axes des galeries de la grotte, par le test de Vistelius (voir paragraphe 2.2); les deux problèmes sont d'ailleurs posés exactement de la même manière.

En appliquant ce test à l'échantillon considéré, étant donné N = 2622 (= somme des fréquences de tous les plans moyens), K = 18, N = 146, on a :

pour t = 2 : m_1 = 170 (limite supérieure)
m_2 = 123 (limite inférieure)

pour t = 3 : m_1 = 185 (limite supérieure)
m_2 = 114 (limite inférieure)

3.3. Présentation des résultats

Ce test permet de distinguer les groupements suivants dans la répartition pondérée des pôles (Figure 7):
1. Zones de densité anormalement faible; n_i est inférieure à m_2 pour t = 3.

2. L'intervalle de transition pour lequel n_i est compris entre m_2 pour t = 2 n'est pas représenté.

3. Zones isotropes; n_i est compris entre m_2 et m_1 pour t = 2. t = 3 et m_2 pour

4. L'intervalle de transition pour lequel n_i est compris entre m_1 pour t = 2 et m_1 pour t = 3 n'est pas représenté.

5. Zones de concentration ; n_i est supérieur à m_1 pour t = 3. Cette répartition est représentée à la Fig.7.

La densité de la distribution des groupes de fractures I à V (paragraphe 3.2, lettre f) est représentée à la Figure 3.

4. Comparaison entre l'orientation des galeries de la grotte et celle des éléments de la structure géologique

La comparaison directe des Figures 2 et 7 appelle les observations suivantes :
Il y a une relation entre les principales directions de la cavité et l'orientation des principaux groupes de fissures. La meilleure coincidence des deux ensembles, donc la plus forte karstification des fissures, s'observe dans la direction des groupes I, II et III, et dans la direction d'un sous-ensemble du groupe IV; dans cette dernière direction, la karstification est bien marquée, mais les fissures ont une fréquence faible, comme le montre la Figure 7.

Les diaclases du groupe V sont aussi karstifiées, mais sur de courtes distances seulement (voir plan de la grotte, Figure 1); ceci explique l'absence de ce système de galeries à la Figure 2.

Il est possible de donner une expression du coefficient de ressemblance des deux distributions d'éléments linéaires représentées aux Figures 2 et 7. Ce coefficient est le cosinus de l'angle formé par les deux vecteurs à 18 dimensions qui représentent les deux ensembles; sa valeur est de 0,751.

5. Interprétation des résultats

5.1. Hypothèse de base

Proposons une interprétation des similitudes et des differences observées au paragraphe 4. Elle est basée sur l'hypothèse fondamentale suivante:

H1 : le degré de karstification est proportionnel au vecteur vitesse de filtration $\vec{q}$ de l'écoulement souterrain.
Connaissant trois paramètres des principaux groupes de fissures (l'orientation $\vec{n}$, la fréquence f et l'ouverture d), on peut calculer la composante de $\vec{q}$ dans la direction de chaque groupe (L. Kiraly, 1969b):

$$\vec{q_i} = \left(\frac{g}{12\nu} f_i d_i^{\,3} \left[I - \vec{n_i} \otimes \vec{n_i} \right] \right) \vec{J} = \overline{K_i}\ \vec{J} \quad \left[LT^{-1} \right]$$

où

$\vec{q_i}$ = composante de $\vec{q}$ dans la direction du i-ème groupe
g = accélération due à la gravité
ν = viscosité cinématique de l'eau
f_i = fréquence du i-ème groupe
d_i = ouverture moyenne des fissures du i-ème groupe
I = tenseur identique
$\vec{n_i} \otimes \vec{n_i}$ = produit tensoriel de la normale du i-ème groupe par elle-même
$\vec{J}$ = vecteur du gradient hydraulique
$\overline{K_i}$ = tenseur de perméabilité du i-ème groupe

Les f_i et $\vec{n_i}$ sont estimés d'après les mesures de terrain;
les d_i sont estimés par hypothèse (l'ouverture des diaclases étant difficilement mesurable). La direction du vecteur $\vec{J}$ est estimée, grossièrement, d'après la position de la principale zone d'exutoire.

La quasi totalité des galeries est subhorizontale, il nous est donc permis de raisonner dans un sous-espace bidimensionnel: le plan X -Y (l'axe des +X = direction Nord; l'axe des +Y = direction W).

5.2. Données pour l'estimation du vecteur $\vec{g}$

a- Les normales des principaux groupes de fissures sont représentées par les matrices - colonnes suivantes:

$\vec{n_I} = [0 \quad 1]'$ $\qquad \vec{n_{II}} = [0.438 \quad 0,899]'$

$\vec{n_{III}} = [0,438 \quad -0,899]'$ $\qquad n_{IV} = [0,940 \quad 0,342]'$

$\vec{n_V} = [0,913 \quad -0,423]'$

b- Les fréquences moyennes sont $[m^{-2}]$

$f_I = 8,2$; $f_{II} = 4,4$; $f_{III} = 3,6$; $f_{IV} = 3,7$; $fV = 2,8$

c- Faisons l'hypothèse que l'ouverture moyenne des diaclases avant la karstification était $d_i = 0,1$ [mm] = 10^{-4} [m], pour tous les groupes. Nous pensons, sur la base de considérations tectoniques, que cette estimation est trop faible pour les groupes I et III. En effet, les fissures du groupe II sont des cisaillements sénestres et les fissures du groupe V sont des cisaillements dextres, régionalement développés; donc les diaclases des groupes I et III ont été certainement élargies par extension. Toutefois, dans cette étude préliminaire, nous admettons un écartement uniforme de $d_i = 0,1$ [mm] pour tous les groupes.

d- Les constantes physiques sont :

$$g = 9,81 \quad \left[ms^{-2} \right]$$
$$\nu = 10^{-6} \quad \left[m^2 s^{-1} \right]$$

e- La principale zone d'exutoire est la vallée de l'Allaine, donc la direction générale du gradient devrait être dirigée vers le NE ou vers le N-NE. $\overrightarrow{q_i}$ est calculé pour deux directions du gradient (M 45° E et N 20° E) représentées par les matrices-colonnes:

$$\overrightarrow{J_1} = \left[0,707 \quad 0,707 \right]' \quad \text{et} \quad \overrightarrow{J_2} = \left[0,940 \quad 0,342 \right]'$$

La valeur absolue du gradient n'a pas d'importance, car seuls les rapports entre les $\left| \overrightarrow{q_i} \right|$ nous intéressent. Pour cette raison nous adoptons $\left| \overrightarrow{J_i} \right| = \left| \overrightarrow{J_2} \right| = 1$

5.3. Résultats de l'estimation du vecteur $\overrightarrow{q}$

a - Les tenseurs de perméabilité $\overline{\overline{K_i}} = \frac{g}{12\nu} f_i d_i^{\,3} \left[I - \overrightarrow{n_i} \otimes \overrightarrow{n_i} \right]$ des groupes de fissures sont (dans le sous-espace X-Y !):

$$\overline{\overline{K_I}} = 10^{-6} \begin{bmatrix} 6,56 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \overline{\overline{K_{II}}} = 10^{-6} \begin{bmatrix} 2,84 & -1,39 \\ -1,39 & 0,68 \end{bmatrix}$$

$$\overline{\overline{K_{III}}} = 10^{-6} \begin{bmatrix} 1,67 & 1,13 \\ 1,13 & 0,55 \end{bmatrix} \qquad \overline{\overline{K_{IV}}} = 10^{-6} \begin{bmatrix} 0,34 & -0,95 \\ -0,95 & 2,61 \end{bmatrix}$$

$$\overline{\overline{K_V}} = 10^{-6} \begin{bmatrix} 0,37 & 0,86 \\ 0,86 & 1,84 \end{bmatrix}.$$

dimensions des $\overline{\overline{K_i}}$: $\left[ms^{-1} \right]$

b- Le tenseur de perméabilité global $\overline{\overline{K_T}}$, dû aux cinq groupes de fissures, est :

$$\overline{\overline{K_T}} = \sum_{i=1}^{5} \overline{\overline{K_i}} = 10^{-6} \begin{bmatrix} 11,8 & -0,3 \\ -0,3 & 5,7 \end{bmatrix}$$

Si nous avions admis $d_i = 1$ [mm] , la perméabilité serait alors :

$$\overline{\overline{K_T}} = 10^{-3} \begin{bmatrix} 11,8 & -0,3 \\ -0,3 & 5,7 \end{bmatrix}$$

On voit que la matrice $\overline{\overline{K_T}}$ est pratiquement diagonale dans la base des coordonnées géographiques et que la perméabilité est maximale dans la direction N-S, et minimale dans la direction E-W. Déjà d'après ce renseignement, on s'attend à une plus grande karstification des groupes I, II et III.

c- Les vecteurs vitesse de filtration sont, en valeur absolue (dimension : $\left[ms^{-1} \right]$):

avec $\overrightarrow{J_1}$:

$$|\overrightarrow{q_I}| = |\overline{\overline{K_I}} \cdot \overrightarrow{J_1}| = 4{,}63.10^{-6}$$

$$|\overrightarrow{q_{II}}| = |\overline{\overline{K_{II}}} \cdot \overrightarrow{J_1}| = 3{,}31.10^{-6}$$

$$|\overrightarrow{q_{III}}| = |\overline{\overline{K_{III}}} \cdot \overrightarrow{J_1}| = 0{,}55.10^{-6}$$

$$|\overrightarrow{q_{IV}}| = |\overline{\overline{K_{IV}}} \cdot \overrightarrow{J_1}| = 2{,}66.10^{-6}$$

$$|\overrightarrow{q_V}| = |\overline{\overline{K_V}} \cdot \overrightarrow{J_1}| = 0{,}78.10^{-6}$$

avec $\overrightarrow{J_2}$

$$|\overrightarrow{q_I}| = 6{,}16.10^{-6}$$

$$|\overrightarrow{q_{II}}| = 3{,}48.10^{-6}$$

$$|\overrightarrow{q_{III}}| = 1{,}46.10^{-6}$$

$$|\overrightarrow{q_{IV}}| = 1{,}88.10^{-6}$$

$$|\overrightarrow{q_V}| = 0{,}19.10^{-6}$$

d- Les résultats de l'estimation ne contredisent pas l'hypothèse fondamentale H 1. La karstification relativement faible du groupe V s'explique par le fait que la quantité d'eau qui s'écoule par (unité de temps) dans ces fissures était relativement faible et cela, probablement, déjà avant la formation des grandes cavités karstiques. Le développement de ces dernières dans la direction des groupes I, II et IV est expliqué par l'importance des vecteurs vitesse de filtration dans la direction de ces fissures.

Si la direction générale du gradient $\overrightarrow{J}$ reste assez constante dans le temps, la karstification des fissures devient un processus auto-catalyseur : un faible élargissement des fissures d'un groupe i suffit à augmenter la perméabilité directionnelle parallèlement à ce groupe (si d passe de 0,1 [mm] à 1 [mm], K_i augmente 1000 fois) ce qui entraîne l'augmentation de $\overrightarrow{q_i}$, donc l'accélération de la karstification des fissures. Ainsi, les conditions "paléo-hydrauliques" sont, en quelque sorte, "fossilisées" dans le réseau des cavités souterraines.

6. Conclusions :

1.- Les cavités souterraines ne sont pas également développées dans toutes les directions (leur développement est anisotrope). L'étude de la distribution de leur orientation présente un grand intérêt pour l'hydrogéologie des roches fissurées.

2.- Les principales directions des cavités sont influencées par l'orientation des principaux groupes de fissures, par la perméabilité géométrique de chaque groupe de fissures et par la direction générale du gradient hydraulique des eaux souterraines.

3.- Les résultats de cette étude ne contredisent pas l'hypothèse que le degré de karstification des fissures est proportionnel au vecteur vitesse de filtration dans la direction de celles-ci.

4.- L'étude statistique de la fissuration, de l'orientation de cavités karstiques et de la direction générale de l'écoulement des eaux souterraines est indispensable pour définir les relations entre ces facteurs, et pour contrôler l'hypothèse ci-dessus.

Remerciements.
Nous remercions très sincèrement les membres du Spéléo-Club Jura, qui nous ont fait part à plusieurs reprises de leur voeu de voir leurs recherches à la grotte de Milandre complétées par une étude géologique, et qui ont accepté de mettre à notre disposition tous les relevés topographiques effectués dans cette cavité.

Bibliographie

ERZINGER E .- (1943) : Die Oberflächenformen der Ajoie (Berner Jura). Thèse, Université de Bâle, 138 pp.

KIRALY L .- (1968) : Eléments structuraux et alignement de phénomènes karstiques (Région du gouffre du Petit-Pré de Saint-Livres. Jura Vaudois). Bull. Soc. Neuchâtel. Sci. nat. 91. p. 127-146. 10 fig.

— .- (1969a): Les éléments structuraux aux environs du gouffre du Petit-Pré de Saint-Livres (Jura Vaudois). Actes du 3è Congrès national Suisse de Spéléologie. Interlaken, 24 et 25 septembre 1967, p. 32-43. 10 fig.

KIRALY L. (1969b) : Statistical Analysis of Fractures (Orientation and Density). Geol.Rundschau, 59/1 (à paraître).
KLOETZLI E. (1968) : Topographie :à Milandre. Le Jura Souterrain. Bulletin du Spéléo-Club Jura, 12/2, p. 3-4.
— (1969) : La grotte de Milandre (Boncourt, BE). Actes du 3è Congrès national suisse de Spéléologie, p. 113-115.
MULLER L. (1963) : Der Felsbau. Theoretischer Teil. Stuttgart, 624 S., 307 Abb., 22 Taf.
SCHEIDEGGER A.E. (1965) : On the Statistics of the Orientation of Bedding Planes, Grain Axes, and Similar Sedimentological Data. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 525-c, p.164-167, 1 fig.
VISTELIUS A.B. (1966) : Structural Diagrams. Pergamon Press, 178 p.
VOUILLAMOZ P. (1969) : Grotte de Milandre 1964-1969. Le Jura Souterrain, 13/1, p. 6-10, 2 Fig.

Discussion :

BLEICH (Wolfschlugen) : Je komplizierter die Verhältnisse, desto mehr Messungen erforderlich; zur Kenntnis der erforderlichen Zahl ist sehr gute Lokalkenntnis notwendig.

KIRALY : Nous répétons que la représentativité de la fréquence moyenne des fissures, dans une région, ne dépend pas du nombre de mesures par stations (voir la réponse à K.A. TOUSSAINT) mais de la densité des stations et de l'hétérogénéité du champ de la fréquence des fissures. Si l'hétérogénéité de la fréquence des fissures est grande à l'échelle de la région étudiée (c'est-à-dire, la situationest "compliquée"), c'est la densité des stations de mesure qu'il faut augmenter et non pas le nombre de fissures mesurées par station.

TOUSSAINT : Anzahl der Messpunkte (60) ausreichend für eine richtige statistische Aussage?

KIRALY : Notre méthode d'échantillonnage est très différente de celle utilisée couramment par les géologues (voir L. KIRALY, 1969b): puisque, dans une région donnée, nous nous intéressons non seulement à l'orientation, mais aussi à la fréquence des diaclases (nombre de fissures par mètre), nous ne mesurons pas des diaclases isolées, choisies au hasard, mais nous mesurons toutes les diaclases suivant une ligne de levé (station) choisie "au hasard".

Dans ce cas la représentativité des résultats statistiques dépend non pas du nombre de diaclases mesurées par station, mais de la longueur des lignes de levé (" grandeur " de la station), du nombre de stations de mesure et de l'hétérogénéité des fréquences dans la région étudiée.

Par exemple, si l'on étudie la distribution des sapins dans une forêt , la représentativité des résultats statistiques ne dépendra pas du nombre de sapins par échantillon, mais du nombre d'échantillons, de la grandeur de l'échantillon (are, hectare, etc,) et de l'hétérogénéité de la distribution. Il serait, en effet, absurde de dire qu'il faut dénombrer au moins 60 sapins par hectare pour que les résultats statistiques soient représentatifs.

Nous pensons, d'ailleurs, que les fréquences moyennes des diaclases calculées d'après 10 stations de mesure relativement rapprochées doivent être assez représentatives pour la région étudiée. En effet, une analyse de variance effectuée dans une autre région du Jura (L. KIRALY, 1969b) a montré que les variations locales de la fréquence des diaclases (variations entre affleurements rapprochés) sont beaucoup plus grandes que les variations entre les moyennes de plusieurs stations.

KILARY L. (1969 c) : Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés. Eclogae Geol. Helv., 62/2, p. 613-619.

De l'influence des acides humiques sur la corrosion des roches calcaires

Robert DELBROUCK (Rochefort/Belgique)

Introduction :

Depuis longtemps, l'on admet que la corrosion chimique des roches calcaires est principalement due au CO_2 dissous dans les eaux.

Pourtant, certains travaux ont déjà prouvé que certains éléments secondaires jouent parfois un rôle dans la dissolution des roches calcaires. Citons par exemple les travaux de P.G. Liegeois et de G. Loriaux (1), qui montrent que l'oxydation des pyrites donne lieu naturellement à un ion SO_4^{--}.

Il est pratiquement prouvé, à l'heure actuelle, que la teneur en CO_2 de l'atmosphère a fort varié au cours du quaternaire, ce qui implique une variation de la pression partielle en CO_2 des eaux naturelles. Les variations climatiques pendant cette même période donne lieu à une variation de l'agressivité de l'eau. Des température plus élevées, augmentent certainement l'activité chimique des acides, mais des températures inférieures favorisent la dissolution du CO_2 dans les eaux ! De ces deux principes peuvent découler de nombreuses hypothèses.

On oublie généralement de considérer l'action des ions secondaires tel que Cl^- , SO_4^{--} , des acides humiques, etc... qui ne sont soumis qu'à une seule variable : l'accroissement de la température favorise l'activité chimique des acides.

Notre travail a pour but d'essayer de mettre en évidence l'activité spécifique des acides humiques, qui jusqu'à présent a toujours été négligée.

Chapitre 1 : Généralités

1°) Structure :

Encore mal définis, les acides humiques sont des complexes produits par la dégradation des matières organiques du sol, l'humus. Ils sont produits par action microbiologique et on peut les classer en trois groupes :

1°: Les préhumines : partiellement solubles dans la soude.
2°: Les acides humiques "sensu stricto" : solubles dans la soude.
3°: L'Humine : à plus haut degré de polymérisation, est complètement insoluble dans la soude et les solvants habituels.

Nous retiendrons principalement les acides humiques "sensu stricto", qui sont les seuls à posséder une action vraiment acide, et qui se divisent eux-mêmes en deux catégories :

- la première : les bruns et bruns-rouges produits en sols acides, et pauvres en azote.
- la seconde : les gris et bruns-noirs, produits en sols calciques, plus riches en azote.

Leur composition chimique est encore mal définie. Fuchs (2) propose une formule de structure qui met en évidence cinq fonctions acides et six fonctions phénols (voir fig. 1). Ce motif pouvant être condensé par des liaisons du type -NH-, =N- , -S-, donnant lieu à des hétéropolymères.

Grâce aux études par les rayons X et par le microscope électronique, on sait que ces colloïdes ont des formes sphériques et amorphes.

D'après Duchaufour (3), ils forment des complexes floculables avec les ions Ca^{++}, mais donnent lieu à des complexes avec les argiles, beaucoup plus stables vis-à-vis des alcalino-terreux.

Les acides humiques formant une couche protectrice (voir fig. 2) mais une fois floculés, ces complexes sont difficilement dispersables.

2°) Activité :

En solution, ils se comportent en colloïdes électronégatifs. Ils floculent en milieu acide, mais les acides faibles restent sans action. Les ions alcalins ont une action dispersante, tandis que les alcalino-terreux les précipitent. En combinaison avec les colloïdes argileux, ils restent stables.

Leurs liaisons avec les métaux est du type chélates, et ils se complexifient généralement bien avec le calcium magnésium, sodium, potassium, fer et plomb.

Nous avons déterminé une courbe potentiométrique par titration d'une solution d'acide humique extraite de la tourbe. Cette courbe met en évidence, deux acidités, dont les pK sont de 4,87 et 6,60. Cette courbe nous a permis de déterminer leur équivalence pondérale et absorbsiométrique (Fig.3).

Nous avons également réalisé un essai de dissolution en laboratoire. Deux flacons sont remplis de 500 ml d'une solution diluée d'acide humique extrait de la tourbe, et de 10 gr de marbre pur d'une granulométrie de 1-3mm. Un troisième flacon contenant uniquement une solution d'acide humique est conservée dans les mêmes conditions, et nous servira de référence. Ces trois flacons sont conservés sous athmosphère inerte (N_2) pendant 6 jours à une température de 20°C. A temps répétés, nous effectuons le dosage des ions Ca^{++} dissous par photométrie de flamme, et nous reproduisons ci-après les résultats.

temps en heures	meg de Ca^{++} dissout par 500 ml de sol. premier essai	second essai
0	0	0
5	0,15	0,125
9	0,225	0,200
19	0,540	0,500
23	0,655	0,615
45	1,00	0,862
100	1,o2	0,860
144	1,06	0,860

Ces résultats, sont reportés sur le graphique 4.
L'équivalence de la solution mère, est de 4,04 meg/1, en considécant les deux acidités. Dans notre essai, nous constatons qu'après six jours la solubilisation est pratiquementterminée, et qu'une seule acidité a réagi.

En effectuant la titration d'une solution d'acide humique par une solution d'hydroxyde de calcium, on obtient exactement le même résultat qu'avec la soude.

Nous concluons que si les deux acidités de l'acide humique sont actives vis-à-vis du calcium, une seule est capable de dissocier le $CaCO_3$ cristallisé.

Chapitre 2 : Présence des acides humiques dans les eaux naturelles.

1°) Dosage :

Il n'existe pas de méthode de dosage spécifique aux acides humiques. Nous avons adopté le dosage spectrophotométrique, qui est le plus simple et le plus précis. Nous avons relevé le spectre d'absorption (voir fig 5) de notre acide extrait de la tourbe. Nous adoptons la longueur d'onde de 270 mu qui correspond à un léger palier et offre un minimum d'interférences dues aux ions habituels Fe^{+++}, NO_3^-, NO_2^-, ClO^-, et SiO_2 (d'après un rapport publié par l'Electricité de France -4-).

Nous avons calculé la correspondance à 270 mu, 1 degré de densité optique correspond à 0,2057 meg/l d'acide humique.

2°) Répartition dans différentes eaux naturelles :

Nous avons prélevé des échantillons dans une série de ruisseaux et de rivières appartenant aux régions géographiques belges : Le Hesbaye, la Famenne, les Fagnes, le Condroz et l'Ardenne.

Nous les reproduisons ci-après en les classant en deux tableaux.
Le premier reprend les cours d'eaux qui s'écoulent en région essentiellement non calcaire, donc en sols acides.
Le second tableau reprend les cours d'eaux qui s'écoulent au moins en partie sur sous-sol calcaire, donc qui peut contenir des ions Ca^{++} en abondance.

Les résultats de nos analyses sont exprimés d'une part en milli-équivalents grammes d'acides humiques et d'autre part en milli-grammes de $CaCO_3$, que pourrait dissoudre l'acide humique.

Ruisseaux et Rivières s'écoulant en région non calcaire

Nom du Ruis. ou riv.	Lieu de prélèvement	meg A.H.	mg de $CaCO_3$
Grand Ry	Wavre	0,058	2,9
Le Train	Chaumont Gistoux	0,0134	0,65
Rs de Dion le Mont	Dion le Mont	0,050	2,50
Mehaigne	Wandre	0,029	1,45
La Batterie	Hanret	0,034	1,70
Mehaigne	Eghezée	0,030	1,50
Rs de Nil	Nil Saint Vincent	0,122	6,10
Rs de la Sablonière	Suarlé	0,078	3,90
Rs Cortil Wandon	Cortil Wandon	0,038	1,90
La Sarte	Thorembais St Trond	0,056	2,80
Rs de Régneissart	Nismes	0,0083	0,42
Ry d'Ave	Wellin	0,0205	1,02
Biran (Roch)	Rochefort	0,032	1,60
Ry de Vachaux	Villers/Lesse	0,0196	0,88
Biran (Beauraing)	Focant	0,085	4,25
Ry de Fenffe	Ciergnon	0,0124	0,62
Rs du Hilan	Baronville	0,087	4,35
Rs de Heer	Heer	0,083	4,15
Rs de Petit Deische	Heer	0,0043	0,22
Ry du Marais	Deische	0,044	2,2

Ruisseaux et rivières s'écoulant en régions calcaires

Nom du Ruisseau ou riv.	Lieu du prélèvement	meg A.H.	mg de $CaCO_3$
Meuse	Huy	0,034	1,70
Eau Noire	Couvin	0,0134	0,67
Lesse	Ciergnon	0,0155	0,75
Lhomme	Rochefort	0,0186	0,98
Résurgence Fte Rivfre	Sy/Ourthe	0,0052	0,26
Résurgence de l'Eglise	Couvin	0,0031	0,15
Ry de Samson	Samson	0,0073	0,36
Source de Petite Bamal	Bomal/Ourthe	0,0093	0,45
Ourthe	Sy/Ourthe	0,0186	0,90
Ry de Solière	Ben Ahin	0,048	2,40
Ry de Ben Ahin	Ben Ahin	0,041	2,05

De ces tableaux, il ressort immédiatement qu'à l'exception de quelques cas isolés, les eaux s'écoulant en région calcaire, contiennent toujours beaucoup moins d'acides humiques que celles des régions à sols acides. Si nous établissons des moyennes, on trouve 0,046 meg/l d'acides humiques pour les eaux des régions non calcaires et 0,0195, pour les autres.

Par ces constatations, nous sommes amenés à supposer que lors du passage d'un ruisseau dans une région calcaire, les acides humiques réagissent avec le calcium et finissent par floculer. Ces complexes floculés, difficilement dispersables (3), ne sont pas dosés par le spectrophotomètre.

3°) Les eaux en régions calcaires :

Afin de vérifier l'hypothèse formulée ci-dessus, nous avons étudié plus précisément un réseau, en l'occurence celui de la LHOMME, entre Jemelle et Eprave.

La Lhomme prend sa source dans les Ardennes belges, et après un parcours d'une quarantaine de kilomètres à

travers des régions shisteuses et gréseuses, elle entre dans les bancs calcaires Givétiens à Jemelle. Nous avons prélevé les échantillons "Jemelle" quelques centaines de mètres avant son premier contact avec le calcaire. Elle s'écoule pendant 9.700 mètres sur les calcaires en y perdant une bonne partie de ses eaux au profit du réseau souterrain. Elle ressort ensuite de ces bancs à Eprave, et nous avons prélevé les échantillons peu avant : "Eprave aérien". Nous avons prélevé des échantillons également à Rochefort : "Rochefort Aérien". A la même hauteur, nous prélevons également sur la rivière souterraine " Rochefort Souterrain" et à la résurgence de toutes les eaux souterraines à Eprave : " Eprave Aérien" .

Nous reproduisons ci-après les moyennes des résultats d'une série d'analyses qui sont également reproduites au graphique 6.

teneur en acide humique milli-équivalents grammes / litre			
réseau	Jemelle	Rochefort	Eprave
AERIEN	0,0136	0,0176	0,0183
SOUTERRAIN		0,0102	0,0122

On peut conclure que pour le réseau aérien, la charge en acide humique s'accroît progressivement par apport dû au lessivage des sols, les mesures ayant été effectuées par une époque de forte pluviosité (4). Par contre pour le réseau souterrain, malgré cet apport constant d'acides humiques, et d'eaux superficielles, on constate une diminution due à la forte dissolution des roches calcaires dans les réseaux souterrains, où le contact eau-substrat est important.

Chapitre 3 : Conclusions

Les acides humiques sont pratiquement toujours présents dans les eaux. Lorsqu'elles rencontrent des bancs de roches calcaires, ils réagissent, soit directement sur le substrat, soit en complexant les ions Ca^{++} déjà en solution, libérant ainsi l'anion HCO_3^-, qui redevient agressif. Dans ce second cas on peut supposer que les deux acidités de l'acide humique interviennent.

Ils floculent généralement en formant des complexes Argilo-humates calciques.

Ils nous semble que leur action en tant qu'agent de corrosion est affirmée. Leur importance relative à celle du CO_2 paraît moindre dans les cas étudiés. Ne peut-on pas supposer que par des climats chauds, à forte végétation, leur concentration dans les eaux soit devenue fort importante. De plus, leur activité chimique serait accrue, tandis que la solubilisation du CO_2 serait diminuée.

Notre exposé a pour but d'essayer de souligner un agent de corrosion qui trop souvent a été considéré comme négligeable.

Nous espérons prochainement apporter des indications plus précises quant à leur action comparée dans des eaux de différentes régions climatiques.

Bibliographie

1 .- G. Loriaux : De la présence de la pyrite dans les roches calcaires et son influence sur le cavernement Colleq. Intern. Spéléologie Bruxelles 1968.
2 .- Kononowa : Soil organic matter. Académie des Sciences URSS Pergamon Press.
3 .- Duchaufour : Précis de Pédologie Massen et Cie.
4 .- Pencelet et Martin : Esquisse Climatographique de la Belgique.
5 .- Roques H : Sur la répartition du CO_2 dans les Karsts. Annales de Spéléologie :Tome 18 Fasc 2 1963 France.
6 .- Pechon et de Barjac : Traité de microbiologie des Sols - Dunod Paris 1958.
7 .- Demolon : La dynamique des sols. Dunod Paris 1952
8 .- Electricité de France : Rapport de la division Laboratoire du Service de production thermique Lag/7663.
9 .- R. Delbrouck: Contribution à l'étude de l'altération chimique des Roches calcaires par les Eaux de la Lhomme.

Discussion :

CAMILLE EK (Liège) - 1) Vous avez dit que, dans vos expériences en flacon, les acides humiques se saturent en 6 jours en carbonate de calcium. Cela correspondrait-il à une forte dissolution ? Vous avez en effet dit d'autre part que les acides humiques représentaient 1/10 de l'acidité du CO_2. Voulez-vous dire par là qu'en Belgique, en général, les acides humiques dissolvent dans les eaux souterraine 1/10 de ce que dissout le CO_2 ?

2)- Vous observez, dans vos expériences, deux paliers dans la courbe de saturation. N'est-ce pas en relation avec l'existence de deux catégories d'acides humiques : les"bruns" et les"gris"?

J.CORBEL (Calnise) - Nos mesures ont donné des résultats du même ordre- C'est entre l'Irlande et la Belgique (ou l'Allemagne du Nord) que l'on trouve le maximum d'humus. Les quantités diminuent sous les autres climats plus froid et surtout plus chaud (où ils sont remplacés par d'autres "acides organiques").
R. Muxart et T. Stchouz Koy , ont mis au point une méthode pour notre équipe de recherche pour connaître la possibilité globale a dissolution des eaux de marais (tropicales et autres) - (CO_2 + acides divers) CO_2 fait toujours 90% au total , le maximum d'action des "acides divers" se trouvent dans les tourbières d'Irlande puis dans les marais tropicaux.

M.A. GEYH (Hannover) - In general the mentioned results are in exellent agreement with the conclusions which are being derived from " C- analyses of several stalagmits grown in caves of middle Europe. More than 95 " C- resultsshow that the CO_2 in the soil could not be originated by decomposition of calcerous rocks. In contrast to this in seldom cases it is also possible that more than 75% of the CO_2 in the soils is of such origin. One example is theCHARLOTTEN- cave near Hürben W/ Germany.

CAMILLE EK (Liège) - 1) A quoi est due le maximum de 1/% d'activité des A.H. c'est une constatations dans les eaux courantes de la Belgique.

2) Il y a plusieurs catégories d'acides humiques qui ont des activités différentes, suivant leur origine ,sol acide ou sols alcalins.

J. CORBEL- D'après des analyses d'acides organiques de régions acides, ceux-ci n'atteignent non plus jamais plus de 10% de l'acidité totale.
De plus l'activité de l'humus diminue avec les climats froid et chaud, la Belgique est dans une région particulièrement propice.

J-J- MISEREZ (La Chaux de Fonds) - Vous dosez les acides humiques par spectrophotométrie. Pouvez-vous nous dire si la mesure s'est faite en " déroulant" le spectre ? Dans le cas contraire, quelle est la longueur d'onde utilisée?.

FORMULE DE STRUCTURE DES ACIDES HUMIQUES

d'après FUCHS

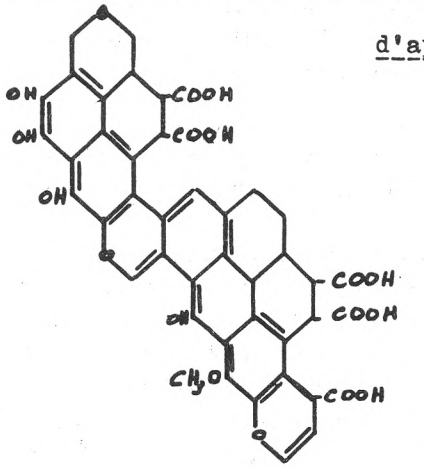


fig 1

COLLOIDE ARGILO - HUMIQUE

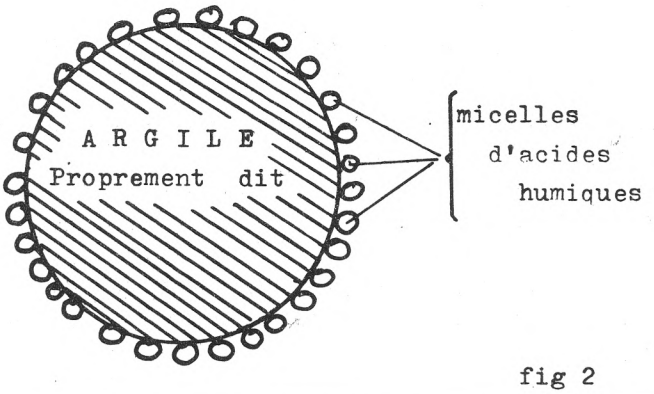


fig 2

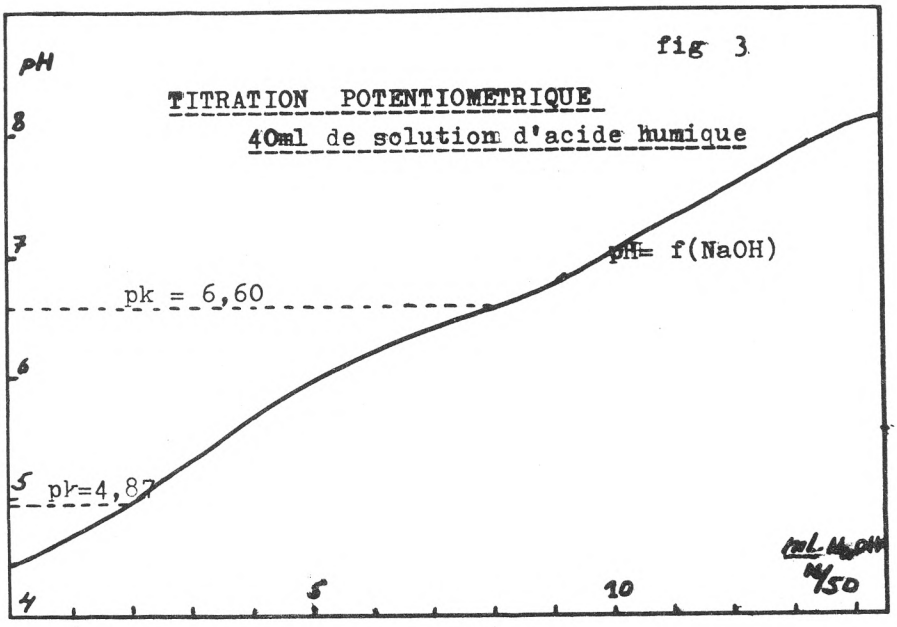


fig 4

COURBE DE LA SOLUBILISATION du $CaCO_3$ -
par les ACIDES HUMIQUES

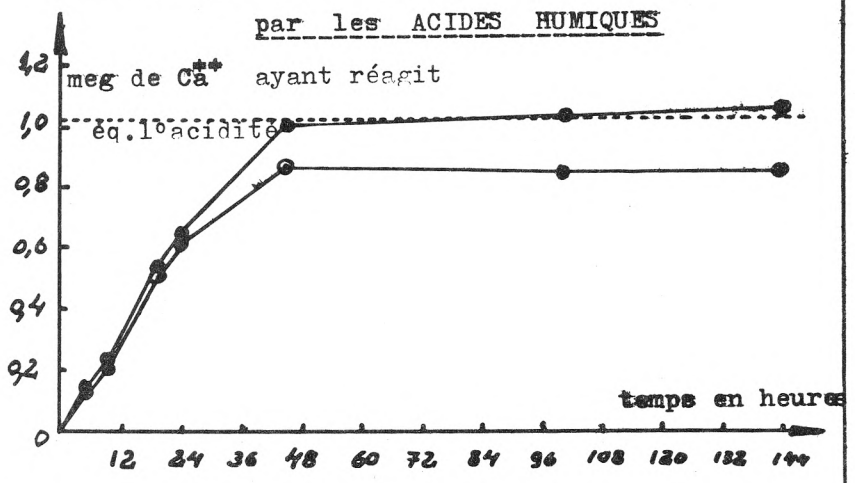


fig 5

SPECTRE d'ABSORPTION DES ACIDES HUMIQUES

spectrophotomètre Beckman DB
cuve de 1 Cm fente programmée

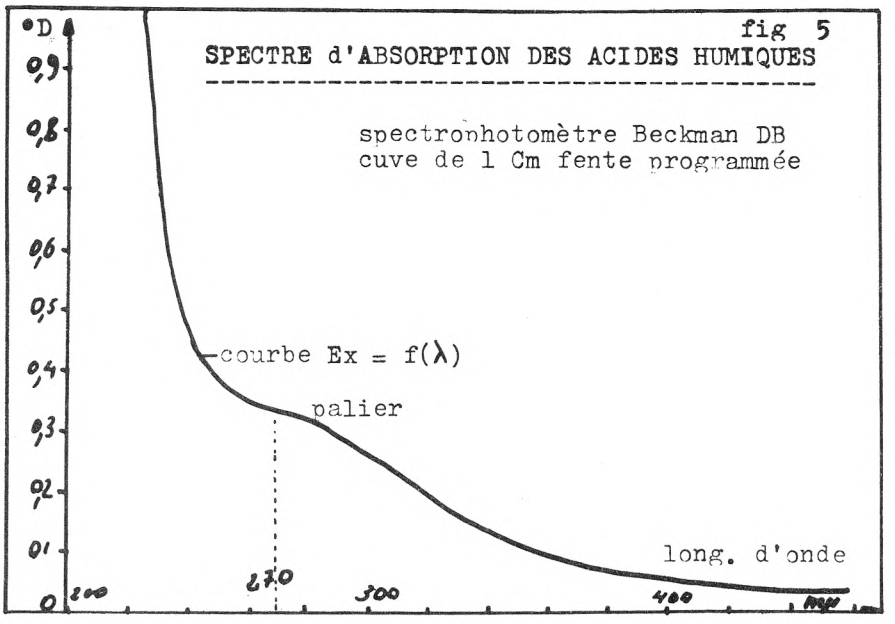
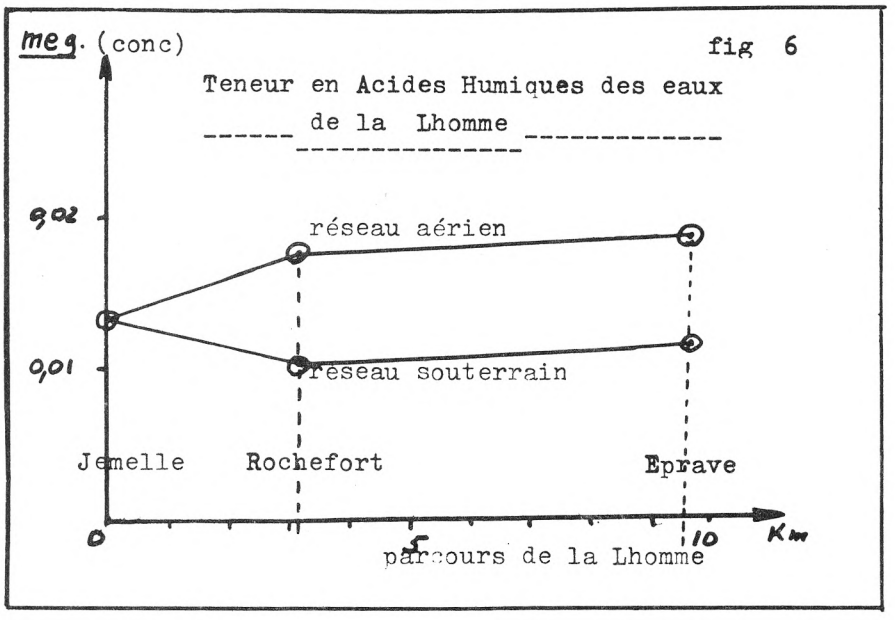


fig 6

meq. (conc)

Teneur en Acides Humiques des eaux
de la Lhomme



Konkretionen und Wassermarken in der Eisriesenwelt im Im Tennengebirge und in den Dachstein-Höhlen

FRANZ ROBERT OEDL (Salzburg / Österreich)

Im Auftrag und mit Unterstützung der Akademie der Wissenschaften haben die später auch in Höhlenkreisen sehr bekannten Professoren Dr. Otto Lehmann, Dr. Julius Pia, Dr. Otto Wettstein-Westersheim und Dr. phil. Ernst Hauser in der Zeit vom 29. März bis 6. April 1921 die neuentdeckte große Eishöhle im Tennengebirge wissenschaftlich nach verschiedensten Fachrichtungen eingehend untersucht. In der Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse vom 6. Mai 1921, veröffentlicht im akademischen Anzeiger Nr. 11, Wien 1921, wurde erstmals darüber berichtet. Die höhlentechnische Durchführung lag unter Leitung des heutigen Referenten, der mit Unterstützung zahlreicher Mitglieder des Vereines für Höhlenkunde in Salzburg für den klaglosen Ablauf dieser erstmals ausgeführten Großexpedition verantwortlich zeichnete. Darüber hinaus hat er gemeinsam mit Dr Ernst Hauser den meteorologischen Teil über die Eisverhältnisse der Höhle bearbeitet. Im Band VI der SPELÄOLOGISCHEN MONOGRAPHIEN, herausgegeben vom speläologischen Institut der Bundeshöhlen-Kommission, redigiert von Univ. Prof. Dr. Georg Kyrle, wurde über alle Expeditionsergebnisse in Wien im Jahre 1926 berichtet. Auf 145 Seiten mit 48 Tafeln und 40 Textfiguren wurde "Die EISRIESENWELT im Tennengebirge" mit einem Höhlenplan im Maßstab 1:2000, aufgenommen von Ing. Freih. vom Czörnig und dem Referenten, so komplex bearbeitet, daß dieses Werk als Standard-Werk für Höhlenkunde gelten darf.

Während dieser ereignisreichen Forschertage fanden wir bei den vielen oft tagelangen Befahrungen im Röhren-Labyrinth im Norden des Eisteiles der Eisriesenwelt herrliche "Kristall-Drusen", besonders in der von uns benannten "Kristall-Kammer". In diesem sehr engen und schwer beschliefbaren Labyrinth entdeckten wir auch den "KALZIT-SEE" der für die Entstehungsgeschichte der Bildung von Wassermarken maßgebend wurde. Auch in den "DIAMANTEN-REICHEN" I und II im westlichen Teil dieses über 45 km langen Höhlengebietes wurden diese einmaligen Fundstellen der Kristall-Vorkommen eingehend beschrieben. Später hat Dr. Walter Biese im zweiten Teil seines umfassenden Werkes mit dem Titel "Über Höhlenbildung" über die Kristall-Bildung in den beiden Diamanten-Reichen sehr eingehend berichtet. Dieses Werk ist als Heft 146 in den Abhandlungen der Preußischen Geologischen Landesantalt, Berlin 1933, erschienen; es sei hier besonders auf die Seiten 76 - 81 verwiesen.

Trotz größter Gefährdung durch Fliegerbomben haben größere verlagerte Restbestände den 2. Weltkrieg überlebt und sind noch heute durch die Mangold'sche Buchhandlung in Blaubeuren erhältlich.

Vor Beginn seines Referates hat es der Berichterstatter für seine Pflicht gehalten, auf diese Werke hinzuweisen. Zusammenfassend möchte er feststellen, daß diese zahlreich vorgefundenen Wassermarken und sonstige Kristall-Drusen in sehr hoch gelegenen, fast völlig abgeschlossenen Höhlenräumen der EISRIESENWELT gefunden wurden. Hier konnten sich diese oft sehr bizarren Kalkspat-Kristalle in völlig von Bewetterung freien Räumen in sehr langen Zeiträumen ganz abgeschlossen von Einflüssen der Außenwelt entwicklen.

Dagegen fanden wir die zahlreich vorkommenden "KONKRETIONEN" gerade in den tiefsten Teilen der EISRIESENWELT! die alle unter 1700 m Seehöhe liegen. Vor allem sahen wir diese seltsamen Konkretionen in den merkwürdigsten Formen in den von uns benannten "KRAPFEN- und KARTOFFEL-LABYRINTHEN" südlich des kilometerlangen "MIDGARDS". Der Referent zeigt an Hand einzigartiger Original-Fundstücke, Farb-Dias und Strichzeichnungen diese reizvollen Gebilde. Er berichtet auch, daß er viele Jahre nach seinen Entdeckungen in der EISRIESENWELT beim Literatur-Studium zufällig auf die Veröffentlichung des Professors R. Trampler aus Wien gestoßen ist. Dieser schreibt schon im 43. Band des 2. Heftes des Jahrbuches der k.k. geologischen Reichsanstalt in Wien über die "LOUKASTEINE". Auf Seite 333 dieser eben genannten Veröffentlichung beschreibt er verschiedene Fundstellen im Devon-Kalk des "Brünner Höhlengebietes" in der Nähe von Blansko und verweist auf die völlig symmetrische Form dieser Krapfen, die wie von einem Drechsler auf der Drehbank bearbeitet erscheinen. Erstmals erwähnt er auch den drastischen Vergleich mit versteinerten "KRAPFEN" sowohl hinsichtlich der Form und Grö ße als auch der Farbe, da alle Fundstücke rotbraun und gelblich gefärbt waren.

In der eingangs erwähnten Monographie über die Eisriesenwelt weist der Referent in seiner Veröffentlichung "ERKLÄRUNG BESONDERER HÖHLENNAMEN" auf Seite 133 über die Entdeckung der Kalzit-Konkretionen im Kartoffel-Labyrinth darauf hin, daß es nicht verwunderlich war, bei Benennung der Labyrinthe, wo diese seltsamen Formen vorkamen, an Kartoffel, Krapfen, Kakao und sonstige eßbare Dinge zu denken, da uns in den mageren Jahren nach dem ersten Weltkrieg, als wir diese Teile erforschten, oft der Magen stark knurrte und wir bei Betrachtung solcher Formen etwas Eßbares herbeisehnten.

Sehr bemerkenswert war auch die Entdeckung ähnlicher krapfenartiger Gebilde im Bergbaugebiet der Fa. Gebr. Leube in Gartenau bei Salzburg. Ca. 10 km südlich der Landeshauptstadt Salzburg in unmittelbarer Nähe der Grenzstelle gegen Schellenberg liegt westlich von der Zollstelle Hangenden Stein der Gutrathberg, in dem seit mehr als 100 Jahren ein unterirdischer Abbau von Zementmergeln betrieben wird. Diese Rohsteingewinnung für das älteste Zementwerk Europas, das sich seit Anbeginn im Familienbesitz befindet, geschieht in den Schrammbach-Schichten im Liegenden der Roßfeld-Schichten, die der unteren Kreide angehören. In nächster Nachbarschaft der Juragrenze treten sehr starke Verformungen bei den sonst fast regelmäßig gelagerten Schichten auf, die allerdings im großen und ganzen mit ca. 65° nach Westen einfallen. Das mehrere Kilometer lange Vorkommen stellt sich aber gegen Süden immer mehr aus und steht dem Ende zu völlig saiger. In den starken Faltungen an den erwähnten Grenzschichten zwischen den Zementmergeln und dem Jura sind einzelne schichtgebundene typische Vorkommen, in denen zahlreiche krapfenförmige Gebilde aus reinem Feuerstein lagern. Es ist als sicher anzunehmen, daß diese Krapfen, die bis zu Kopfgröße gefunden werden, nur durch die starke tektonische Verformung in den weichen Mergeln entstanden sein können. Es treten hier fließartige Bildungen auf, die fast den Krapfen der EISRIESENWELT gleichen, aber zur Gänze aus Silikat-Gesteinen (SiO_2) bestehen. Der Referent zeigt eine Reihe dieser Vorkommen in Dias und ein Musterstück im Original.

Ferner zeigt er auch mehrere Dias eines sehr flachen brotlaibähnlichen Gebildes. Es handelt sich hier ebenfalls um eine Konkretion aus dem "Krapfenlabyrinth" der EISRIESENWELT.

Summary: Concretions and Watermarks

in the "Eisriesenwelt" in the Tennengebirge and in the caves of the"Dachstein".

In the crystalroom and at the "Calzit"-lake of the tube-labyrinth in the north of the ice-part of the "Eisriesenwelt" we have found wonderful crystal-druses, just so in the "diamond-realm" I and II in the western part of the cave-district, which is nearly 50 km long, in altitudes higher than 1.800 m.

Many "Conkretionen" we have found particularly in the deep parts under 1.700 m in the south of the "Midgads" and that in the "Krapfen-" and in the "Potato-labyrinth".

The author will describe these often unique forms by several findings.

A piece of "limestone" from the "Bock"-cave (the later name is Oedl-cave) in the neighbourhood of the "Mammut"-cave in the district of the "Dachstein" shows the "Eguttations-effect, that means the "erosion" by falling waterdrops in particularly impressive manner. This very rare appearance will be described by the original.

Farther will be reported about a particular Fe_2O_3 concretion from the same cave-district.

Utilisation d'une électrode spéciale pour la mesure de P CO_2 dans les eaux et l'atmosphère - Application à l'étude des phénomènes karstiques du Jura suisse

JJ. MISEREZ (Laboratoire de Mineralogie, Petrographie et Geochimie, Institut de Géologie, Université de Neuchâtel /Suisse)

Résumé:

Une électrode commercialisée et d'emploi courant dans la recherche médicale est utilisée, pour la première fois à notre connaissance, dans l'étude d'une répartition du CO_2 dans les eaux et l'atmosphère d'un karst.
Il s'agit d'une électrode Radiometer (Copenhague), type E 5036: à l'intérieur d'un boîtier étanche, fermé à son extrémité par une membrane semi-perméable en téflon, une électrode de verre combinée, miniaturisée, est plongée dans une solution de bicarbonate de sodium. Lors de la mesure, s'établit, à travers la membrane sélective, un équilibre de P CO_2 entre la solution de bicarbonate et le milieu dans lequel est plongé l'appareil. Le pH de la solution baignant l'électrode permet, après étalonnage au moyen de solutions de P CO_2 connue, de donner la pression partielle de gaz carbonique.
L'appareil peut être branché sur n'importe quel pH-mètre de laboratoire ou de terrain.
Les principaux avantages de la méthode sont:
- la miniaturisation de l'électrode qui permet de mesurer le CO_2 jusque dans certaines fissures ou dans très peu d'eau.
- l'utilisation indifférente de l'électrode dans une phase gazeuse ou dans une phase aqueuse qui permet, par exemple, de comparer la pression partielle en CO_2 d'une eau souterraine avec celle de l'atmosphère d'une cavité.
- la rapidité, la simplicité, en même temps que la précision de la mesure.

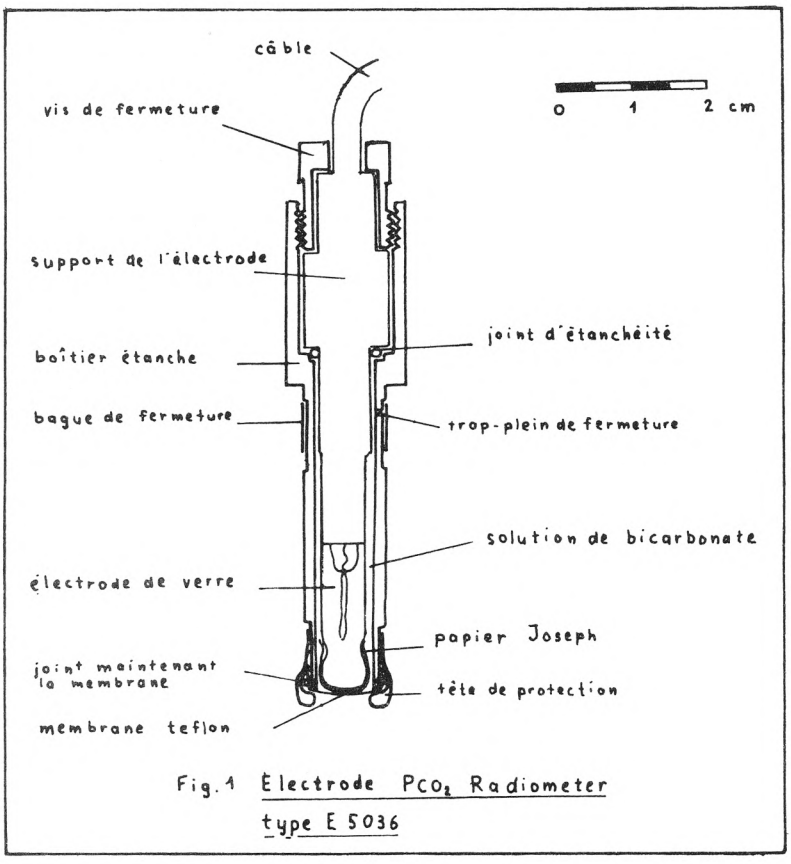


Fig. 1 Électrode PCO_2 Radiometer type E 5036

A l'aide de l'électrode décrite ci-dessus, de nombreuses mesures ont été effectuées dans le Jura suisse et quelques unes dans le Jura français. Elles ont porté sur la répartition de $P CO_2$ dans des eaux de résurgences, de pertes, de nappes (forages), de cavités, ainsi que dans l'atmosphère libre ou souterraine.

A la suite de ces mesures, deux études principales sont entreprises: 1) les eaux karstiques du Jura sont classées en divers types, suivant la valeur de $P CO_2$, en même temps que sont déterminées les conditions dans lesquelles le CO_2 dans la phase aqueuse est en équilibre avec le CO_2 atmosphérique.
2) $P CO_2$ mesuré est comparé avec $P CO_2$ théorique, calculé au moyen du pH et de la dureté temporaire, selon la méthode de H. Roques (Ann. Spéléo. 18(2) 11 (1963)). La correspondance est souvent très bonne. Dans le cas contraire, la différence est mise en corrélation avec la teneur en éléments autres que le calcium, tels que Mg^{2+}, Sr^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Fe^{3+}. Tous ces éléments ont été analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique (Perkin-Elmer 303).

Introduction

Dans toute étude de l'équilibre $CO_2 - H_2O - CaCO_3$ appliquée aux problèmes de la karstification, la détermination de $P CO_2$ est essentielle. La plupart des méthodes de dosage sont ou trop simples et peu précises ou trop compliquées De plus, à notre connaissance, aucune d'entre elles ne permet de mesurer la pression partielle de CO_2 à la fois dans les eaux et l'atmosphère, soit indifféremment dans les phases liquide et gazeuse. Or l'étude des échanges du gaz carbonique à l'interface eau - atmosphère exige des mesures comparatives.

Nous avons utilisé, pour l'étude d'une répartition du CO_2 dans les eaux et l'atmosphère du Jura suisse, une électrode commercialisée et d'emploi courant dans la recherche médicale.

1.- Electrode à $P CO_2$

1.1. Description

Il s'agit d'une électrode Radiometer (Copenhague), type E 5036, dont le schéma est donné ci-dessous (fig1): à l'intérieur d'un boîtier étanche, fermé à son extrémité par une membrane semi-perméable en téflon de 12 μ, une électrode de verre combinée, miniaturisée, est plongée dans une solution de bicarbonate de sodium. L'électrode est protégée d'un contact direct avec la membrane au moyen d'une pièce de papier-tissu, chimiquement neutre, de 40 μ d'épaisseur (papier Joseph), enveloppant son extrémité. Lors de la mesure, s'établit, à travers la membrane sélective, un équilibre de $P CO_2$ entre la solution de bicarbonate et le milieu dans lequel est plongé l'appareil. La solution baignant l'électrode ($NaHCO_3$ 0,005 M + NaCl 0,02 M) a une force ionique de 10^{-1}, de telle sorte que l'électrode enregistre un pH linéairement proportionnel au log de $P CO_2$. On étalonne l'appareil au moyen de solutions de $P CO_2$ connue. L'électrode étant normalement destinée à être branchée sur un pH-mètre Radiometer, nous en avons modifié la fiche d'entrée pour l'adapter sur les pH-mètres Metrohm, resp. E 300 B de laboratoire, à alimentation de réseau et E 280 A de terrain, à piles.

1.2. Mode opératoire

Après chauffage préalable du pH-mètre, on effectue un étalonnage de base de ce dernier au moyen d'une électrode classique de verre combinée et d'une solution-tampon pH7. Dans la mesure du possible, on travaille en expansion d'échelle (pH: 5,6 - 8,4) et la lecture se fera au centième de degré pH près. Après blocage de l'aiguille au moyen du bouton adéquat (sur zéro), on remplace la fiche de l'électrode pH par celle de l'électrode à $P CO_2$. Cette dernière est plongée dans le liquide de telle sorte que son extrémité soit à environ 4 cm de profondeur. On libère à nouveau l'aiguille du pH-mètre et on stabilise la mesure durant environ 10 min, en n'hésitant pas à bloquer, puis libérer l'aiguille plusieurs fois de suite. Il est aussi judicieux d'agiter légèrement l'électrode de temps à autre.

La température n'a quasiment aucun effet sur la mesure, mais la stabilisation de l'électrode se fait plus rapidement lorsque celle-ci s'élève (électrode conçue pour travailler à 36°c). Une trop grande élévation de la température risque cependant de provoquer un départ de CO_2. Il s'agit d'adopter un juste compromis. Au laboratoire, les mesures ont été faites entre 15 et 20°c, sur le terrain vers 10°c.

1.3. Etalonnage

En accord avec le mode opératoire Radiometer, la relation entre le pH et log $P CO_2$ étant linéaire, nous avons étalonné l'électrode au moyen de deux bouteilles à % de CO_2 connu, fournies dans le commerce par Instrumentation Laboratory inc. Boston Mass. :

bouteille 1): CO_2 4,54% bouteille 2) : CO_2 9,86%

ces valeurs sont garanties à ± 0,03%

On passe facilement de la teneur en % à la pression partielle de CO_2 au moyen de la formule :

$$P CO_2 \text{ (atm)} = \frac{\%\, CO_2\, (Patm\, [mm] - P H_2O\, [mm])}{100 . 760}$$

Type	Région	Série	Point d'eau	Pco_2 calculé (atm)	Pco_2 mesuré labo. (atm)	Pco_2 mesuré portatif (atm)	Pco_2 atmos. (atm)
Forages	Bassin supérieur de l'Areuse	3	Verrières(1) BOC surface	$2,40 \times 10^{-2}$	$8,0 \times 10^{-2}$	——	——
		3	" " profond	$2,30 \times 10^{-2}$	$5,2 \times 10^{-2}$	——	——
		3	Brouillet BOC surface	$1,98 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$	——	$3,4 \times 10^{-3}$
		3	" " profond	$1,82 \times 10^{-2}$	$9,5 \times 10^{-3}$	——	$3,4 \times 10^{-3}$
		3	" pomp. surface	$1,89 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$	——	$3,4 \times 10^{-3}$
		3	" " profond	$2,02 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	——	$3,4 \times 10^{-3}$
		3	Clef d'Or BOC surface	$1,78 \times 10^{-2}$	$2,6 \times 10^{-2}$	——	$1,9 \times 10^{-3}$
		3	" " profond	$1,79 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	——	$1,9 \times 10^{-3}$
		3	" pomp. surface	$2,34 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$	——	$1,9 \times 10^{-3}$
		3	" " profond	$2,38 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	——	$1,9 \times 10^{-3}$
		3	Cachot BOC surface	$3,20 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-2}$	——	$8,0 \times 10^{-4}$
		3	" " profond	$4,22 \times 10^{-2}$	$5,2 \times 10^{-2}$	——	$8,0 \times 10^{-4}$
		3	" pomp. surface	$1,22 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-2}$	——	$8,0 \times 10^{-4}$
		3	" " profond	$4,37 \times 10^{-2}$	$8,5 \times 10^{-2}$	——	$8,0 \times 10^{-4}$
		3	Brévine BOC surface	$2,12 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$	——	$1,7 \times 10^{-3}$
		3	" " profond	$1,92 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-2}$	——	$1,7 \times 10^{-3}$
		3	" pomp. surface	$9,73 \times 10^{-2}$	$9,2 \times 10^{-3}$	——	$1,7 \times 10^{-3}$
		3	" " profond	$1,99 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	——	$1,7 \times 10^{-3}$
		3	" BOC surface (2)	$2,01 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$	——	——
		3	" " profond (2)	$1,55 \times 10^{-2}$	$1,95 \times 10^{-2}$	——	——
		3	Verrières(2) BOC surface	$1,57 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-2}$	——	$9,2 \times 10^{-4}$
		3	" " profond	$2,19 \times 10^{-2}$	$3,1 \times 10^{-2}$	——	$9,2 \times 10^{-4}$
		3	" pompage	$2,92 \times 10^{-2}$	$5,5 \times 10^{-2}$	——	$9,2 \times 10^{-4}$
Sources	b. sup. Areuse	3	Areuse ouest	$1,74 \times 10^{-2}$	$1,95 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-3}$
		3	" est	$1,74 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-3}$
		3	" bassin	$1,74 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-3}$
	Vaud	2	Aubonne	$1,26 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$4,9 \times 10^{-3}$
		2	La Diaz	$1,76 \times 10^{-2}$	$4,2 \times 10^{-2}$	$2,6 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-3}$
		2	Orbe	$5,27 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,7 \times 10^{-3}$	$3,3 \times 10^{-3}$
		2	Venoge	$1,61 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-3}$
	V. St. Imier sud	2	Les Bains	$2,72 \times 10^{-2}$	$5,2 \times 10^{-2}$	$6,5 \times 10^{-2}$	$4,9 \times 10^{-3}$
		2	Bois-de-Ban	$6,64 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$7,2 \times 10^{-3}$	$4,9 \times 10^{-3}$
		2	Turlure	$2,94 \times 10^{-2}$	$7,0 \times 10^{-2}$	$6,5 \times 10^{-2}$	$4,9 \times 10^{-3}$
	Littoral	2	La Baume	$3,13 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-2}$	$*5,8 \times 10^{-3}$
		2	Moulins-Neuveville ouest	$3,13 \times 10^{-2}$	$7,0 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$4,9 \times 10^{-3}$
		2	Prévôtée supérieure	$2,04 \times 10^{-2}$	$4,1 \times 10^{-2}$	$4,8 \times 10^{-2}$	$4,2 \times 10^{-3}$
		2	" inférieure	$1,48 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-3}$
		2	Les Roches	$2,00 \times 10^{-2}$	$3,7 \times 10^{-2}$	$4,4 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-3}$
		2	Ruhaut - Cressier	$1,45 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$
		2	" St.-Blaise	$2,01 \times 10^{-2}$	$4,7 \times 10^{-2}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-3}$
		2	Vernets centre	$3,28 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-2}$	$4,4 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-3}$
		2	Vigner	$1,63 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-3}$

Type	Région	Série	Point d'eau	Pco_2 calculé (atm)	Pco_2 mesuré labo. (atm)	Pco_2 mesuré portatif (atm)	Pco_2 atmos. (atm)
Sources	Pichoux	2	Blanche-Fontaine nord	$2,36 \times 10^{-2}$	$4,5 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-3}$
		2	" " sud	$3,15 \times 10^{-2}$	$6,2 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-3}$
		2	Sainte-Colombe	$8,61 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$*7,2 \times 10^{-3}$
	Gorges Areuse	2	Combe-Garrot	$7,33 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$4,1 \times 10^{-2}$
		2	Eperon + Rochefort	$8,73 \times 10^{-3}$	$1,35 \times 10^{-2}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$4,1 \times 10^{-2}$
		2	Moyats fond	$9,35 \times 10^{-3}$	$1,35 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$*1,6 \times 10^{-2}$
		2	Moyats sortie	$6,94 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$*7,2 \times 10^{-3}$
		2	Plan-de-l'Eau	$1,42 \times 10^{-2}$	$1,75 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$*1,3 \times 10^{-2}$
		2	Puries	$1,93 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-2}$	$4,1 \times 10^{-2}$
	Ajoie	1	Creux-Genat	$3,33 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-3}$
		2	Main-du-Diable	$2,67 \times 10^{-2}$	$4,7 \times 10^{-2}$	——	——
		1	Milandre (1)	$1,07 \times 10^{-2}$	$1,35 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-3}$
		2	Milandre (2)	$1,85 \times 10^{-2}$	$3,1 \times 10^{-2}$	——	——
		1	La Motte	$1,56 \times 10^{-2}$	$3,1 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$*7,2 \times 10^{-3}$
		1	Ocourt supérieure	$3,33 \times 10^{-3}$	$1,05 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-3}$
		1	" inférieure	$1,51 \times 10^{-2}$	$1,45 \times 10^{-3}$	$5,8 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-3}$
	Vol.-de-Travers Doubs	1	Bief-des-Moulins est	$2,26 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$3,9 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-3}$
		1	" " ouest	$1,76 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-3}$
	V. St. Imier nord	3	Fleurier	$8,78 \times 10^{-3}$	$7,5 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-3}$
		3	Noiraigue	$2,13 \times 10^{-2}$	$2,25 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-3}$
		3	Pont-de-la-Roche	$2,10 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$3,9 \times 10^{-3}$
		1	La Sourde	$1,55 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$
		2	Doux source	$2,66 \times 10^{-2}$	$4,5 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-2}$	$5,8 \times 10^{-3}$
		2	" bassin	$1,76 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-2}$	$9,6 \times 10^{-2}$	$5,8 \times 10^{-3}$
		2	Petite Doux	$2,55 \times 10^{-2}$	$4,8 \times 10^{-2}$	——	$5,8 \times 10^{-3}$
		2	Raissette	$1,61 \times 10^{-2}$	$3,4 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$5,8 \times 10^{-3}$
	Bassin Serrière	2	Merdasson supérieur	$1,63 \times 10^{-2}$	$3,1 \times 10^{-2}$	——	——
		2	" inférieur	$3,42 \times 10^{-2}$	$7,0 \times 10^{-2}$	——	——
	France	2	Lison	$1,93 \times 10^{-2}$	$4,2 \times 10^{-2}$	——	——
		2	Sarrazine	$1,55 \times 10^{-2}$	$3,5 \times 10^{-2}$	——	——
Sources rivières	Vol.-de-Travers	1	Cascade Triangle (n°4)	$1,53 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-2}$
		1	" Cave (n°6)	$1,68 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	——
	France	2	Leubot amont	$4,26 \times 10^{-2}$	$9,0 \times 10^{-2}$	——	——
		2	" aval	$3,40 \times 10^{-2}$	$6,9 \times 10^{-2}$	——	——
		2	Sainte-Anne lac	$1,48 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$7,2 \times 10^{-3}$
Grottes	Vol.-de-Travers	1	Cascade n°1	$2,42 \times 10^{-3}$	$9,2 \times 10^{-4}$	$5,8 \times 10^{-3}$	$4,9 \times 10^{-3}$
		1	" n°2	$8,22 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$
		1	" n°3	$1,37 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$
		1	" n°5	$4,67 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$
Pertes	Suintements gours	2	Sainte-Anne gours	$4,72 \times 10^{-3}$	$9,2 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-3}$
	B. sup. Areuse	3	Renouillère	$3,69 \times 10^{-2}$	$7,3 \times 10^{-2}$	——	$8,0 \times 10^{-4}$
		3	Verrières	$1,56 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-2}$	——	$9,2 \times 10^{-4}$

Figuré : * Pco_2 atmos. pris dans porche ou tunnel

Fig. 2 Etalonnage électrode Pco_2 [Radiometer E 5036]

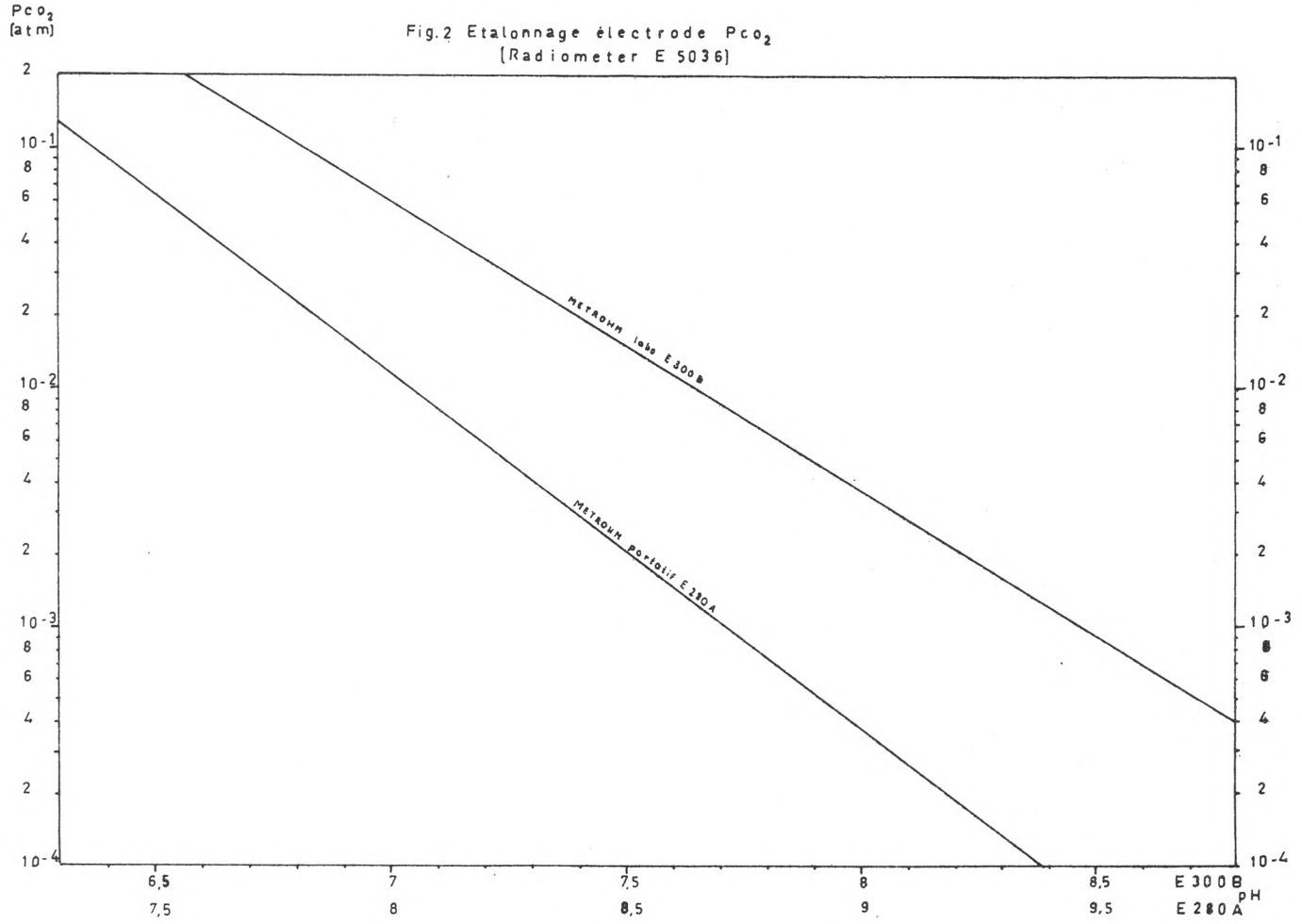
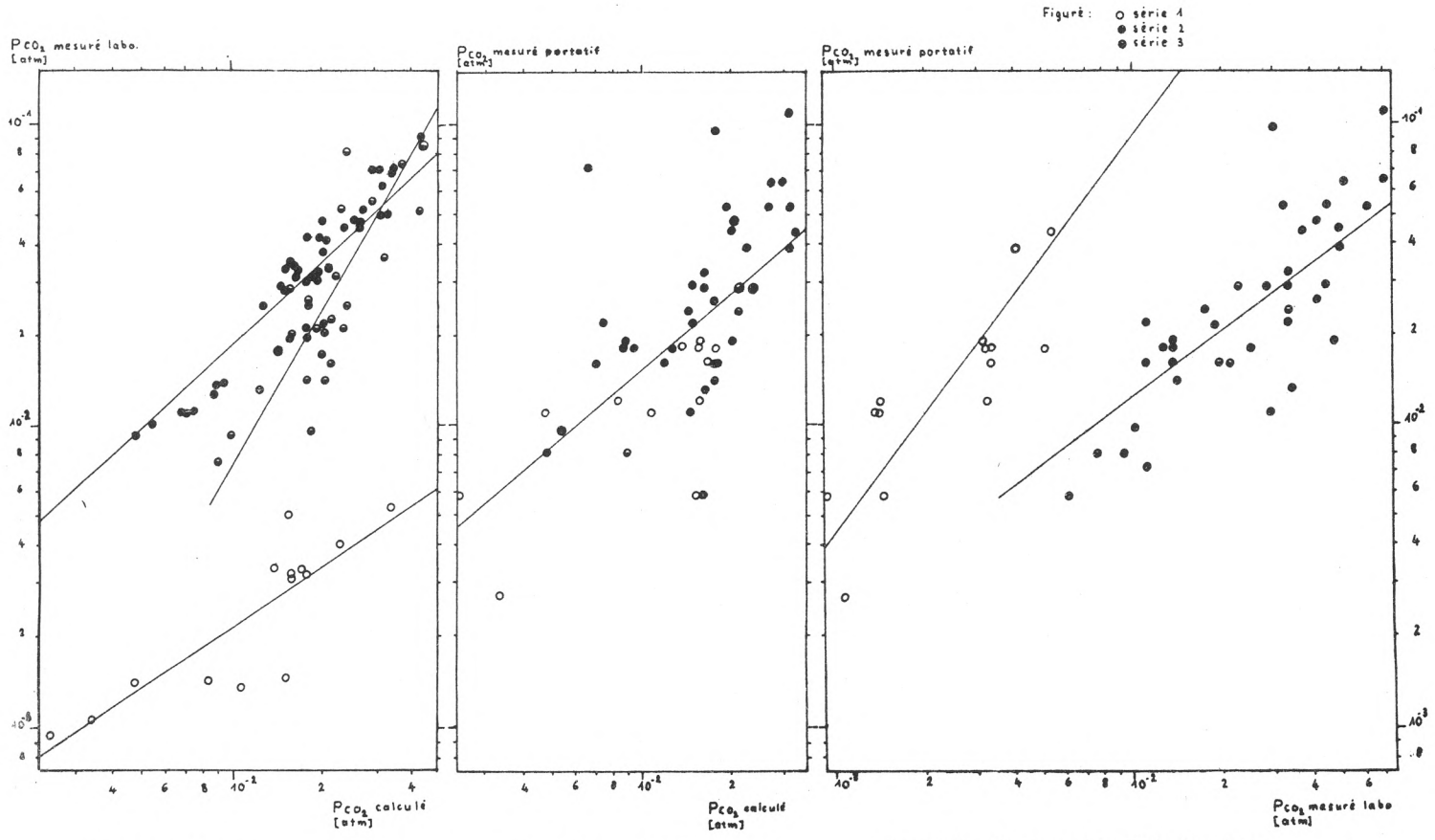


Fig. 3 Corrélations Pco_2



Corrélation Pco_2 mesuré labo.-calculé

Corrélation Pco_2 mesuré portatif-calculé

Corrélation Pco_2 mesuré portatif-mesuré labo.

avec : P atm = pression barométrique du jour (en mm Hg)
P H_2O= pression de vapeur de l'eau (en mm Hg), soit : à 10° : 9 mm
15° : 13 mm
(valeurs arrondies de Handbook of Chemistry and Physics 20° : 18 mm
1965-66) 25° : 24 mm

La stabilité des mesures et leur rapidité étant meilleure en phase liquide qu'en phase gazeuse, on travaille dans l'eau bidistillée. On prépare des solutions saturées de mélange gazeux dans un récipient à double fond en verre fritté à travers lequel diffuse le gaz. Le barbottage dure environ 10 min.

Nous donnons ci-dessous les valeurs de nos étalonnages (Tableau 1):

pH-mètre labo	% CO_2	T°c	P CO_2 (atm)	pH
E 300 B	4,54	15	$4,1 \cdot 10^{-2}$	7,14 ± 0,01
		20	$4,1 \cdot 10^{-2}$	7,16
		25	$4,1 \cdot 10^{-2}$	7,14
		moy. :	$4,1 \cdot 10^{-2}$	7,15
	9,86	15	$9,0 \cdot 10^{-2}$	6,88
		20	$9,0 \cdot 10^{-2}$	6,86
		25	$8,9 \cdot 10^{-2}$	6,84
		moy . :	$9,0 \cdot 10^{-2}$	6,86

pH-mètre portatif	% CO_2	T°c	P CO_2 (atm)	pH
E 280 A	4,54	10	$4,1 \cdot 10^{-2}$	7,63 ± 0,05
	9,86	10	$9,1 \cdot 10^{-2}$	7,40

Il faut remarquer qu'avec le pH-mètre portatif la mesure est moins précise puisque le cadran ne possède pas d'expansion d'échelle. Comme on le voit, les changements de température ne semblent pas modifier sensiblement le pH. Nous avons pris une moyenne de ces mesures. La fig. 2 donne les graphes d'étalonnage utilisés.

2. Mesures

2.1. Choix des points d'eau

A l'aide de l'électrode décrite ci-dessus, de nombreuses mesures ont été effectuées dans le Jura suisse et quelques unes dans le jura français. Elles ont été réalisées dans le cadre d'un travail sur la géochimie des eaux du karst jurassien et ont par conséquent porté sur des points d'eau de types multiples : sources, pertes, nappes (prélèvements statiques avec bouteille à ouverture commandée et prélèvements dynamiques par pompage dans des forages), grottes (rivières, suintements, gours, vasques) ainsi que sur l'atmosphère libre ou souterraine en contact. Nous avons par conséquent réuni toutes les conditions nécessaires à un échantillonnage varié. les résultats que nous donnons dans le Tableau 2 portent sur 84 mesures effectuées en hiver 1969.

2.2. Prélèvements et mesures

Dans le but de comparer les méthodes, nous avons souvent mesuré P CO_2 d'abord sur le terrain, puis au laboratoire. Sur place, la mesure se faisait dans un récipient en polyéthylène. Mais, le cas échéant, la miniaturisation de l'électrode permet de mesurer le CO_2 directement jusque dans certaines laisses d'eau de faible capacité. Le P CO_2 atmosphérique était pris juste au-dessus du point d'eau. Dans les cavités, il est possible et intéressant de prendre cette mesure jusque dans certaines fissures. Les prélèvements ont été faits dans des bouteilles de 1 litre (plus petites si nécessaire) en polyéthylène. La mesure au labo doit se faire immédiatement ou, à défaut, après conservation durant 12 h au maximum, à 5 -10° dans un réfrigérateur. Avant la mesure, on amène à 15 - 20° c.

2.3. Autres paramètres

Parallèlement à la mesure de P CO_2, il était nécessaire, comme expliqué plus loin, de connaître d'autres paramètres, à savoir : T, pH et dureté temporaire. La température a été prise au moyen d'un thermomètre spécial avec une précision de ± 0,05°c; le pH a été mesuré sur place, puis au labo au moyen des pH-mètres Metrohm E 300 b et E 280 A ; sur le terrain nous utilisons une électrode à basse température et en laboratoire, une électrode courante; les mesures en laboratoire ont été faites à 20°c. La dureté temporaire a été titrée avec HCl 0,1 n, en présence de méthyl-orange comme indicateur.

En outre, en accord avec notre programme de recherche, nous avons également effectué la mesure de la résistivité et de la dureté totale (Complexan III 0,05 m), ainsi que l'analyse systématique de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Sr^{2+}, Na^{+}, K^{+} et Fe^{3+} par spectrophotométrie d'absorption atomique (Perkin Elmer 303). De plus, des dosages colorimétriques isolés ont été faits pour connaître l'ordre de grandeur de SO_4^{2-}, Cl^{-}, NO_3^{-}, SiO_2, Al^{3+}.

3. Calcul de $P CO_2$ théorique

On peut caractériser le système $CO_2 - H_2O - CaCO_3$, supposé à l'équilibre (ce qui est à peu près le cas pour les eaux étudiées), en exprimant la variable $P CO_2$ à l'aide des variables (non indépendantes) suivantes: pH, (Ca^{2+})

Le calcul, résumé ci-dessous, est tiré de H. Reques (Ann. Spélé. 18 (2), 150 (1963) :

A partir de l'équilibre classique $\frac{(CO_3H^-)\,(H^+)}{(CO_2)} = 10^{-k1}$ on tire :

$(CO_3H^-) = 10^{pH-k1} \cdot (CO_2)$ puis, en remplaçant l'activité du ion bicarbonate par sa concentration au moyen de :

$(CO_3H^-) = (CO_3H^-) \cdot f\,CO_3H^-$, en introduisant la loi de Henry : $P CO_2 = D \cdot (CO_2)$, ainsi que la condition de neutralité électrique (simplifiée pour un pH < 8,3 où le ion CO_3^{2-} n'intervient pas) : $2\,(Ca^{2+}) \cong (CO_3H^-)$ on obtient finalement : $\log P CO_2 = \underbrace{k1 + \log D + \log 2}_{= A} + \log f\,CO_3H^- + \log (Ca^{2+}) = pH$

Les valeurs de A, qui dépendent légèrement de la température, sont données par H. Reques. Le coefficient d'activité du bicarbonate dépend de la force ionique de la solution qui, en admettant que l'on a affaire à une solution pure de bicarbonate de calcium, se calcule ainsi :

$$\mu = 1/2 \sum \nu_i^{\,2} \cdot c_i \cong 1/2 \cdot (4\,(Ca^{2+}) + (CO_3H^-)) = 3\,(Ca^{2+})$$

H. Reques donne également l'abaque de conversion : $f\,CO_3H^- = f(\mu)$
(Ann. Spélé. 17 (1), 36 (1962))

Pour avoir des valeurs comparables à celles de l'auteur précité, le $\log (Ca^{2+})$ est tiré de la dureté temporaire (TAC). 10 mg/l de $CaCO_3$ correspondent à 4 mg/l de Ca^{2+}, soit à $(Ca^{2+}) = 10^{-4}$ moles/l. Le pH utilisé est celui mesuré en laboratoire, avec le pH-mètre le plus sensible.

A titre d'exemple, voici deux calculs (Tableau 3) :

pt. d'eau	T°c	pH	TAC	(Ca^{2+})	$\log (Ca^{2+})$	$\mu = 3\,(Ca^{2+})$	$f\,CO_3H^-$	$\log f\,CO_3H^-$
Lisen	8,15	7,12	205	$20{,}50 \cdot 10^{-4}$	$\bar{3}{,}31175$	$61{,}50 \cdot 10^{-4}$	0,915	$\bar{1}{,}961$
Orbe	4,85	7,55	157,5	$15{,}75 \cdot 10^{-4}$	$\bar{3}{,}19728$	$47{,}25 \cdot 10^{-4}$	0,925	$\bar{1}{,}966$

(suite)

pt d'eau	A(T°)	$\log P CO_2$	$P CO_2$ (atm)
Lisen	8,134	$\bar{2}{,}286$	$1{,}93 \cdot 10^{-2}$
Orbe	8,109	$\bar{3}{,}722$	$5{,}27 \cdot 10^{-3}$

Les valeurs de $P CO_2$ calculé figurent aussi sur le Tableau 2.

4. Fidélité des résultats

Nous avons voulu connaître dans quelle mesure le calcul approché de $P CO_2$ correspondait aux valeurs mesurées, respectivement sur place et en laboratoire. De même, ces deux modes de mesures ont fait l'objet de comparaison. La fig. 3 donne la distribution des points d'eau par rapport aux droites de régression:

$P CO_2$ mesuré labo = $P CO_2$ calculé, $P CO_2$ mesuré portatif = $P CO_2$ calculé, $P CO_2$ mesuré portatif = $P CO_2$ mesuré labo. Ces corrélations se font sur des graphes à échelles log-log.

4.1. Séries de mesures

Pour tenir compte des conditions de mesure en laboratoire, il a été nécessaire de distinguer 3 séries de mesures :
- La série 1 englobe des mesures faites sur des eaux qui ont été surgelées après prélèvement, puis réchauffées à 15 - 20°. Les valeurs mesurées sont trop faibles par rapport à celles calculées, ce qui tend à prouver que le dégel a provoqué un départ de CO_2. Néanmoins cet effet a dû agir uniformément puisque la corrélation reste bonne.
- La série 2 englobe des mesures faites dans des conditions qui seront désormais considérées comme standard : eaux réchauffées progressivement de leur température initiale jusqu'à 15 - 20°; mesures faites le jour même. Les valeurs obtenues sont tout à fait comparables à celles calculées.

- La série 3 est celle de mesures effectuées sur le terrain (forages surtout) au moyen du pH-mètre labo E300 B alimenté par un groupe électrogène. Ces mesures sont plus facilement sujettes à fluctuations et la température de l'air à l'époque des prélèvements maintenait le pH-mètre proprement dit dans des conditions inhabituelles. Néanmoins la corrélation est bonne, alors que la droite de régression a une pente sensiblement différente de celles des autres séries.

Pour les mesures au pH-mètre portatif E 280A, les séries n'ont pas besoin d'être distinguées.

4.2. Coefficients de corrélation et droites de régression

Ces coefficients de corrélation sont calculés à partir des log $P CO_2$: log $P CO_2$ calculé - log $P CO_2$ mesuré labo

série 1 : nombre de couples : 14
- moyenne log $P CO_2$ calculé : -1,94 (moy $P CO_2$ calculé : $1,15 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,35
- moyenne log $P CO_2$ mesuré : -2,63 (moy $P CO_2$ mesuré : $2,35 . 10^{-3}$)
- écart type " " " : 0,26
- coefficient de corrélation : 0,88
- droite de régression : log $P CO_2$ mesuré = 0,67 . log $P CO_2$ calculé + 1,34

série 2 : nombre de couples : 39
- moyenne log $P CO_2$ calculé : - 1,76 (moy $P CO_2$ calculé : $1,75 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,28
- moyenne log $P CO_2$ mesuré : -1,50 (moy $P CO_2$ mesuré : $3,20 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,28
- coefficient de corrélation : 0,89
- droite de régression : log $P CO_2$ mesuré = 0,89 . log $P CO_2$ calculé + 0,06

série 3 : nombre de couples 31
- moyenne log $P CO_2$ calculé : -1,69 (moy $P CO_2$ calculé : $2,10 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,17
- moyenne log $P CO_2$ mesuré : -1,60 (moy $P CO_2$ mesuré : $2,55 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,30
- coefficient de corrélation : 0,94
- droite de régression : log $P CO_2$ mesuré = 1,70 . log $P CO_2$ calculé + 1,27

log $P CO_2$ calculé - log $P CO_2$ mesuré portatif

séries 1+2+3 : nombre de couples 50
- moyenne log $P CO_2$ calculé : -1,84 (moy $P CO_2$ calculé : $1,45 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,30
- moyenne log $P CO_2$ mesuré : -1,67 (moy $P CO_2$ mesuré : $2,15 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,34
- coefficient de corrélation : 0,76
- droite de régression : log $P CO_2$ mesuré = 0,86 . log $P CO_2$ calculé - 0,09

log $P CO_2$ mesuré labo - log $P CO_2$ mesuré portatif

série 1 : nombre de couples 14
- moyenne log $P CO_2$ labo : -2,63 (moy $P CO_2$ labo : $2,35 . 10^{-3}$)
- écart type " " " : 0,26

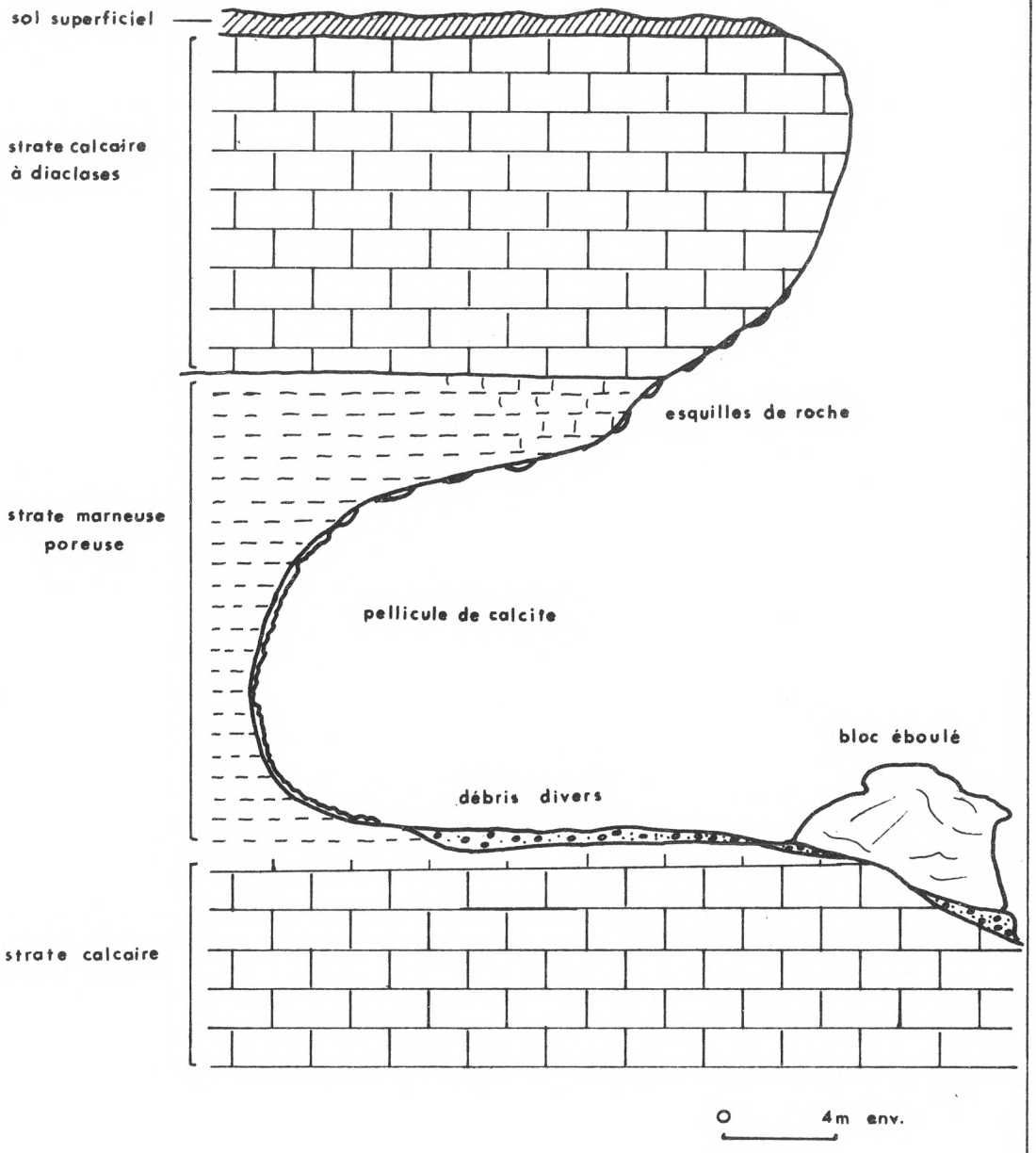
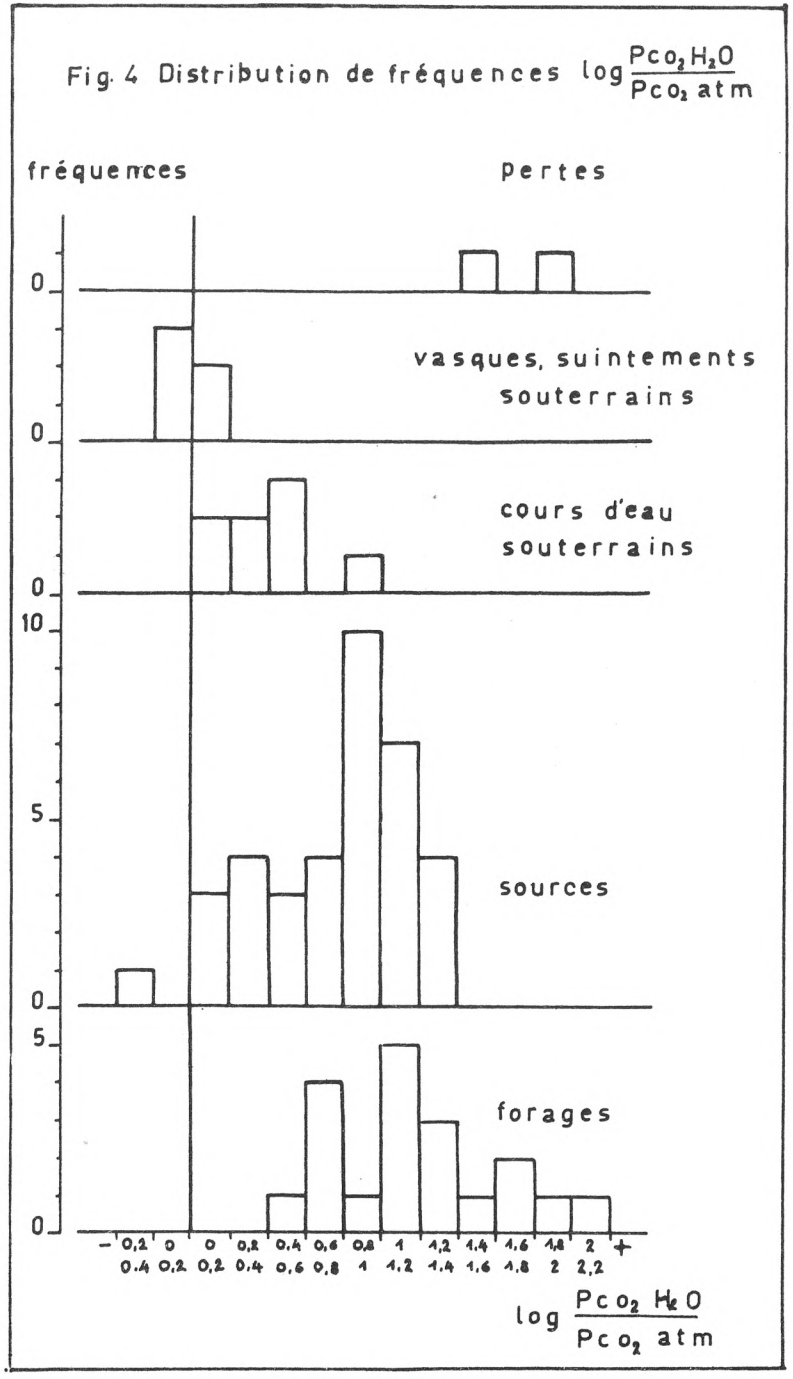


fig.4. Coupe verticale d'un abri sous roche.



série 1 (suite)
- moyenne log $P CO_2$ partatif : -1,87 (moy $P CO_2$ partatif : $1,35 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,35
- coefficient de corrélation : 1,00
- droite de régression : log $P CO_2$ partatif = 1,30 . log $P CO_2$ labo + 1,54

séries 2+3
- nombre de couples : 36
- moyenne log $P CO_2$ labo : -1,58 (moy $P CO_2$ labo : $2,65 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,33
- moyenne log $P CO_2$ partatif : -1,59 (moy $P CO_2$ partatif : $2,60 . 10^{-2}$)
- écart type " " " : 0,31
- coefficient de corrélation : 0,75
- droite de régressien : log $P CO_2$ partatif = 0,72 . log $P CO_2$ labo - 0,46

5. Rapports $P CO_2$ atmosphérique - $P CO_2 H_2O$

Comme déjà dit plus haut, la méthode permet de mesurer indifféremment $P CO_2$ dans les eaux et l'atmosphère, rendant possible la mise en évidence des échanges du gaz entre ces deux milieux.

5.1. Distribution de fréquences log $\frac{P CO_2 H_2O}{P CO_2 atm}$

Pour constater l'éventuelle mise en équilibre de $P CO_2$ entre une eau et l'atmosphère en contact, la meilleure façon de procéder nous a paru consister à établir le diagramme des distributions de fréquences de log $\frac{P CO_2 H_2O}{P CO_2 atm}$ pour l'établissement de ce rapport, nous avons toujours pris en considération des mesures de $P CO_2$ réalisées dans les deux milieux avec un même pH-mètre, soit E 300 B pour les forages et les pertes, respectivement E 280 A pour tous les autres points d'eau. La Fig. 4 représente ces distributions (qui seraient naturellement plus significatives avec plus d'échantillons), établies pour divers types d'eau pris séparément. Conformément aux prévisions, l'équilibre est à peu près réalisé entre des eaux de suintement donnant naissance à un concrétionnement et l'atmosphère d'une cavité ou entre les eaux d'une source incrustante et l'atmosphère libre par exemple, soit pour des eaux à écoulement très divisé dont l'évacuation du gaz carbonique est facilitée.

5.2. Quelques exemples

En guise d'exemple, nous pouvons citer la Baume de Sainte-Anne dans laquelle l'eau d'un lac à forte alimentation est loin d'être en équilibre avec l'atmosphère ambiante, alors qu'au contraire des mesures faites dans des gours alimentés par des gouttes à gouttes chutant d'une hauteur de près de cinquante mètres révèlent un équilibre parfait entre l'eau et l'atmosphère. Conformément à la mesure, l'endroit est caractérisé par la présence d'un très grand plancher stalagmitique. Les mêmes constatations s'appliquent aux mesures faites à la grotte de la Cascade.

Autre exemple, celui du tunnel de captage de la source des Moyats : ici le courant d'eau est assez peu divisé, mais l'atmosphère du tunnel révèle un gradient de $P CO_2$ décroissant en direction de la sortie, si bien qu'à 400 mètres de l'entrée, $P CO_2$ atm est pratiquement égale à $P CO_2H_2O$, tandis que le déséquilibre s'accroit à la sortie.

En guise d'exemple appliqué aux sources incrustantes, celui d'Oceurt. La veine supérieure de cette source donne naissance à un abondant dépôt de tuf : on constate un parfait équilibre entre cette eau passablement déchargée en CO_2 et l'atmosphère. Inversement, la veine inférieure, sortant d'une grotte et captée dans un réservoir qui la préserve du phénomène d'aération, révèle une eau plus chargée en CO_2 que l'atmosphère libre.

Quant aux sources de type vauclusien, leur pression en gaz carbonique est toujours passablement plus élevée que celle de l'atmosphère libre, du moins directement à leur émergence, jusqu'à ce que la détente se produise, certainement bien plus en aval.

6. Essai d'explication des écarts au moyen des paramètres analytiques

Dans le calcul approché de $P CO_2$ théorique, seul le calcium intervenait explicitement, ainsi que le magnésium implicitement (magnésium considéré comme calcium dans la dureté)

6.1. Graphes log $\frac{P CO_2 \text{ mesuré}}{P CO_2 \text{ calculé}}$ = concentration de l'élément x

Nous avons tenté de mettre en corrélation les écarts, sous forme de log $\frac{P\,CO_2 \text{ mesuré}}{P\,CO_2 \text{ calculé}}$, successivement avec la teneur de chacun des cations importants négligés ou englobés grossièrement (magnésium) dans le calcul. Ces teneurs sont en effet assez variables et vont de 1 à 18 (exceptionnellement 22) mg/l pour le magnésium, de 0,02 à 2,6 (exc. 8,5) mg/l pour le strontium, de 0,5 à 3 (exc.13) mg/l pour le sodium, de 0,2 à 2,7 (exc.11) mg/l pour le potassium, de 0 à 0,9 mg/l pour le fer.

Dans aucun des cas la corrélation, même en différentiant les séries de mesures et en tenant compte de certains particularismes régionaux, n'est suffisante pour être prise en considération. Outre ceux qui sont uniformément distribués sur toute une surface, la plupart des points se placent suivant des directions plus ou moins parallèles aux axes, ce qui démontre que souvent log ($P\,CO_2$ mesuré / $P\,CO_2$ calculé) est à peu près constant pour des quantités échelonnées de l'élément considéré ou, qu'au contraire, la variation de l'écart entre la mesure et le calcul est importante même pour des concentrations constantes de l'élément.

Il serait intéressant, avant de tirer une conclusion négative de ces essais, de corréler si possible les écarts avec les anions analysés en série (ce que nous n'avons pas fait), soit : sulfates surtout, chlorures, nitrates éventuellement, ainsi qu'avec la teneur en silice. Quoiqu'il en soit, jusqu'à présent la précision des mesures de $P\,CO_2$ semble encore inférieure à l'influence possible des paramètres négligés dans le calcul.

Conclusions

La méthode de mesure de $P\,CO_2$ que nous avons décrite, après l'avoir simplement appliquée aux problèmes du karst, semble devoir se développer au vu de ses multiples avantages qui sont :
- la miniaturisation de l'électrode qui permet de mesurer le CO_2 jusque dans certaines fissures ou dans très peu d'eau.
- la mise en route possible de mesures en continu.
- l'utilisation indifférente de l'électrode dans une phase liquide ou dans une phase gazeuse qui permet d'effectuer des mesures comparatives dans les eaux et l'atmosphère.
- la rapidité, la simplicité, en même temps que la fiabilité de la mesure.

En outre, il est désormais démontré que le calcul approché de $P\,CO_2$ théorique est en accord avec la mesure et que l'influence des diff-erents cations n'est pas directement décelable.

Bibliographie

Holly F. - 1958 - Examination of underground karstwater systems by chemical methods. Actes 2me Cong. Spéléo. Bari 485

Roques H. - 1962 - Considérations théoriques sur la chimie des carbonates (1er mémoire).Ann. de Spéléo., 17, (1), 11.

Roques H. - 1962 - Appareillages pour le dosage de CO_2 dans les mélanges gazeux. Ann. de Spéléo.,17,(3),455.

Roques H. - 1963 - Sur la répartition du CO_2 dans les karsts (2me mémoire).Ann. de Spéléo.,18, (2),141.

Bögli A. - 1964 - Corrosion par mélange des eaux. Internation Journal of Speleo. 1, 61.

Pitty A.F. - 1966 - An approach to the study of karst water. Univ. Bull. Publ. Occ. Papers Geogr.,570,5.

Ek C. - 1966 - Faible agressivité des eaux de fonte des glaciers :exemple de Marmolade (Dolomites), Ann. Soc. Géol.Bel., 89, (6).

X 1966 - 68 - Analyses physico-chimiques d'eaux karstiques, résultats analytiques. Spelaion Carso, 4,5, 6,7.

Howard A.D.,Ellis B.Y., - 1967 - Solution of limestone under laminar flow between parallel boundaries. Bull. of National Speleo. Soc., 29, (3),104.

Beck G.L. - 1967 - Quantitative analysis of the Muav Aquifer, Grand Canyon National Park, Arizona. Bull. of National Speleo. Soc., 29, (3),105.

Aubert D. - 1967 - Estimation de la dissolution superficielle dans le Jura. Bull. Soc. vaudoise Sc.nat.324.

Ek C., Delecour F., Weissen F.- 1968 - Teneur en CO_2 de l'air de quelques grottes belges - Technique employée et premiers résultats. Ann. de Spéléo. 23, (1), 243.

Bakalowicz M. - 1968 - Le Creux de Soucy. Grottes et gouffres, 41,3.

Fishman M.J., Robinson B.P.-1969- Water analysis. Analytical Chemistry; Annual Reviews,41,(5), 323.

Pačes T. - 1969 - Chemical equilibria and zoning of subsurface water from Jáchymov ore deposit, Czechoslovakia. Geochimica et Cosmochimica Acta, 33, 591.

Ouvrages généraux

Roques H. - 1964 - Contribution à l'étude statique et cinétique des systèmes gaz carbonique - eau - carbonate Ann. de Spéléo., 19, (2), 255.

Handbook of Chemistry and Physics 46 th ed. - 1965-66.

Eriksson E., Gustafsson Y. Nilsson K. -1966- Ground water problems. Wenner- Gren Center International Sypesium séries, 11.

Rodier J. - 1966 - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Dunod, Paris.

Garrels R.M., Christ C.L. -1967- Equilibre des minéraux et de leurs solutions aqueuses. Gauthier-Villars, Paris.

Eis- und Schneehöhlen Jugoslawiens

**FRANCE HABE (Institut zaraziskovanje Krasa SAZU
Postojna / Jugoslawien)**

Ein Drittel Jugoslawiens gehört dem Karst an. Seine unterirdische Welt erforschen die speläologischen Vereine der einzelnen Republiken. Der slowenische Höhlenverein registrierte in seinem Kataster schon über 3.300 Höhlen. Obwohl in den anderen Volksrepubliken mit dem Höhlenkataster erst begonnen wurde, können wir doch einen kurzen Überblick über die Eis- und Schneehöhlen geben. Trotzdem wir nicht so große Eishöhlen wie Österreich besitzen, sind unsere doch interessant in ihren Formen wie auch in den verschiedenen Eisbildungen.

Weil es unmöglich ist, die Eis- und Schneehöhlen zu trennen, behandeln wir in diesem Referat die Eis- und Schneehöhlen als eine Einheit. Sie befinden sich im Hochkarst der julischen und Steiner Alpen, auf den Hochplateaus des Dinarischen Karstes und des Karpatensystems. In den Julischen Alpen haben sich die Eishöhlen an den leicht geneigten Plateaus entwickelt. Auf dem Plateau Triglavski podi befindet sich unter der Kuppe Glava (Kopf) der tiefe Triglavschacht in den untertriassischen Dachsteinkalken, am unteren Rande des Triglavgletschers in einer Seehöhe von 2400 m. Als dieser in unserem Jahrhundert stark zusammenschrumpfte, gelang es erst der 5. Expedition, den Eisschacht im Jahre 1961 zu erforschen. Dies ist deswegen wichtig, weil uns kein anderer Schacht bekannt ist, in dem das Eis die die Tiefe von über 260 m reicht. Dr. Gams (1961, 1-17), der Leiter der Expedition meint, daß die Schächte vor den Gletscherzungen die kältesten sind und daß daher das Eis in ihnen am tiefsten liegt.

In dergleichen Höhe wie der Triglavschacht liegt auch der Eingang in die 180 m lange Ivačič-Eishöhle, die wegen ihrer Eisformen und ihres mächtigen Schichteises besonders interessant ist. Auf der Eingangshalde entsteht das Eis durch Schneelawinen, im Inneren der Höhle aber durch das Frieren des Sickerwassers.

In den Julischen Alpen ist das Kaninplateau in einer Höhe von 1700 bis 2000 m am besten erforscht. In dieser Höhe hielten sich auch früher während einer Rückzugsphase die Gletscherzungen längere Zeit auf und gerade da sind die Schächte am häufigsten. Zur Bildung einer großen Menge Schächte trugen auch die starke Zerklüftung des Dachsteinkalkes und die reichen Niederschläge, die bis 3000 mm erreichen, bei. Der Schnee liegt da durchschnittlich 260 Tage im Jahr (A. Melik, 1954, S. 143). Im Kaninmassiv läuft die Grenze des ewigen Schnees in einer Höhe von 2450 m. Schneefelder sehen wir aber in allen Vertiefungen schon von 1700 m aufwärts.

Die genauere Erforschung der Höhlen am Kaninplateau (Kunaver, J., 1969, S. 69-80) gab uns ein gutes Bild über die Beschaffenheit dieser Schächte. Von 124 Höhlenobjekten entfallen 100 auf vertikale Schächte. Von diesen erreichen die meisten eine Tiefe bis 30 m, ein Fünftel von ihnen sind 31 bis 60 m, nur 6 Schächte über 100 m tief.

Von der Form, der Größe des Einganges und der Tiefe ist das Vorhandensein des Schnees und des Eises in diesem Gebiet abhängig. In wenig tiefen Schächten schmilzt der Schnee jährlich. In stufenartigen Schächten bleiben die Schneemassen auf den Stufen erhalten und verstopfen den Grund. In den über 50 m tiefen Schächten ist neben dem Schnee auch das Eis vorhanden. J. Kunaver (1969, S. 79) vermutet, daß sich das Eis in einer Rückzugsphase oder wenigstens in einer Phase der Stagnierung befindet. Schnee- und Eisschwankungen sind von den klimatischen Verhältnissen abhängig. Gams (1962, S. 8) stellte auf Grund mehrjähriger Beobachtungen der Schneeverhältnisse im Triglavschacht fest, daß die intensiven Schnee- und Eisveränderungen bis zu einer Tiefe von 30 bis 35 m reichen. Im August wurden in den Eisschächten des Kanins bei der Tiefe von 30 bis 60 m Temperaturen zwischen 0^{0} und 1^{0} C gemessen.

Die anderen Gebiete der Julischen Alpen sind viel weniger erforscht. Nur am Hochplateau Križki podi gibt es in einer Höhe von 2040 m einen interessanten, 47 m tiefen Schacht, der ein einen 40 m langen horizontalen Gang übergeht. Die Eisformen stammen vom Sickerwasser, der senkrechte Schacht ist aber mit Schnee verstopft.

Bis jetzt kennen wir in den Julischen Alpen 97 Eis- und Schneehöhlen. 55 davon liegen in einer Höhe von 1800 bis 2000 m. Die Eingänge befinden sich oft am Rande kleiner kesselartigen Vertiefungen, in tektonischen Klüften, meistens in der Richtung N-S und NNW-SSE. Wenig tiefe Schächte haben fast alle senkrechte, nach unten durch Korrosion erweitete Wände, manchmal mit viel Schnee verstopft. In mittleren Tiefen bis 50 m erweitert sich oft der Grund in einen größeren Raum mit Eisbildungen.

Die Frage des Alters dieser Schächte ist noch nicht geklärt. J. Kunaver setzt nach Gospodarič (1968, S. 139-146) die Entstehung der Höhlen in den Julischen Alpen in die Vorwürmzeit. Auch D. Gavrilović (1963, S. 66), der die Eisschächte am 1800 m hohen Lovćen-Massiv erforschte, setzt das Alter in die postpliozäne Zeit.

In den Julischen Voralpen liegt am postpliozänen triassischen Kalkplateau Mezakla die einzige Schneehöhle 1100 m hoch. Mit dem Eingang in einer Einsturzdoline und mit Eis im Eingangsraum erinnert sie an die Eishöhlem des Dinarischen Karstes.

In den Steiner Alpen (Kamniške planine) ist vor allem das Karstplateau Mali podi in einer Höhe von 1900 bis 2000 m unter dem Gipfel Skuta (2532 m) erforscht. Auf dem Plateau mit 1800 bis 2000 mm Jahresniederschlägen bleibt der Schnee 200 Tage liegen. Auf dem stark zerklüfteten obertriassischen Plateau sind 9 untiefe Schnee- und 3 tiefere Eishöhlen (von 44 bis 70 m) mit unten erweiterten Räumen und Eisbildungen aus Sickerwasser.

In den Steiner Alpen befinden sich auf dem Plateau Velika Planina (1600 m) 2 Schnee- und eine tiefe Eishöhle. Noch vor kurzer Zeit verwendeten die Hirten das Eis und den Schnee für das weidende Vieh. In den Steiner Voralpen "Na Golteh" gibt es noch 2 Eishöhlen in einer Höhe von 1500 m. Auf dem Menina Planina befindet sich in einer Höhe von 1450 m am Grunde einer großen Einsturzdoline mit senkrechten, bis 30 m hohen Wänden die Eishöhle Jespa. In einem Seitengang bildet das Sickerwasser im Frühjahr große Eismengen, die 14 m tief hinabreichen. Sogar im September betrug die Temperatur da 0,2°C.

Noch interessanter sind die Eis- und Schneehöhlen in den hohen Gebirgsmassiven des Dinarischen Karstes. Die ersten Angaben über diese im warmen Süden seltene Erscheinung stammen von J. Valvasor (1689) und B. Hacquet (1784). Dr. Schwalbe (1887) und E. Fugger (1891) erwähnen Eis- und Schneehöhlen auch aus dem jetzigen Jugoslawien.

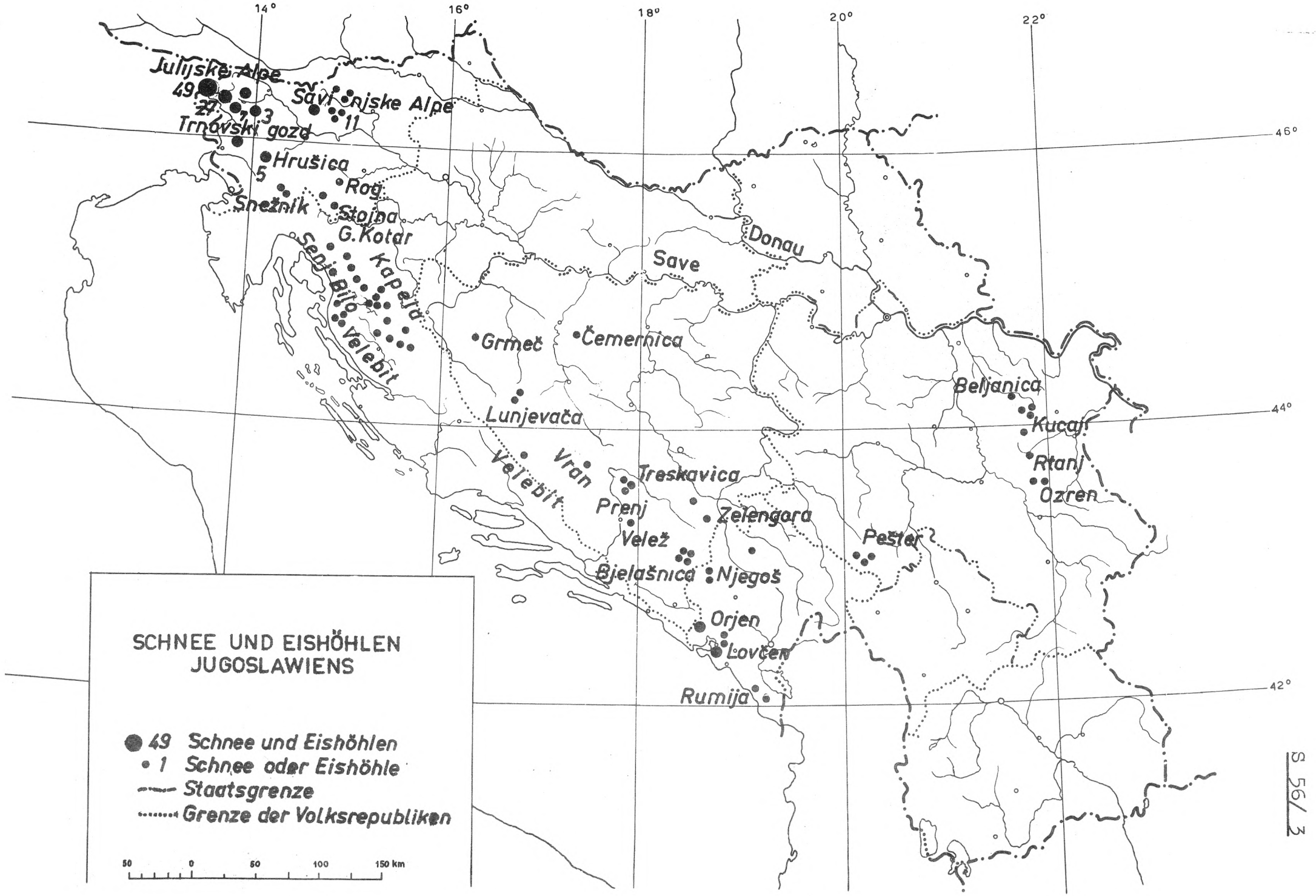
Alle sind an hohe Karstplateaus gebunden. Mehrere Eishöhlen birgt der 800 bis 1200 m hohe Trnovski gozd (Ternowaner Wald) östlich vom Isonzotal. Für dieses Plateau sind das rauhe Klima mit großen Niederschlägen (über 2500 mm), die Bora und eine bis 6 Monate langandauernde Schneedecke charakteristisch. Zahlreiche Schächte und Einsturzdolinen sind an Störungslinien gebunden. Bekannt ist die Velika ledenica (Große Eishöhle) Paradana am Grunde einer 90 m tiefen, trichterförmigen Doline mit typischer Vegetationsumkehr in einer Höhe von 1090 m. Sie ist eine 120 m tiefe, dynamische Höhle. Schon am Abhang unter dem Felsentor beginnt der Schnee, der nach unten in Eis übergeht. Mit häufigen Schneelawinen ändert sich auch die Dicke der Schnee- und Eismassen. Erst 1950 gelang es hinter den Eissiphon bis zu einer eisfreien Tiefe von 120 m vorzudringen. Jenseits des Eissiphons lag damals eine 16 m dicke Eisschicht. Leider ist der Siphon derzeit versperrt. Im vorderen Teil der Eishöhle geht der Lawinenschnee in Firneis über, die niedrigen Temperaturen (schon vor dem Eissiphon) - auch im Hochsommer 0,2 bis 0,5°C - verursachen, daß im Frühjahr und Sommer das durchsickernde Wasser friert und so mächtiges Bodeneis, an den Wänden eine dünne Eiskruste und Eisvorhänge, an der Decke aber dicke Eiszapfen bildet. Der geschmolzene Schnee und starke Regengüsse bilden vor dem Eissiphon einen bis 4 m tiefen See, der später abfließt. Nur an den Wänden bleibt eine Eiskruste als Wassermarke.

Viele Eishöhlen im Karst sind mit den Einsturzdolinen oder mit größeren Karstdolinen eng verbunden. Gewöhnlich führt der absteigende Höhlengang in einen größeren Raum, wo sich wegen der niedrigen Temperaturen das durchsickernde Wasser in Eis verwandelt. So kennen wir im Trnovski gozd (Ternowaner Wald) 8 Eishöhlen in einer Höhe von ca. 1000 m.

Auch auf dem Hrusica (Birnbaumer Wald)-Plateau mit dem Nanos sind 7 Eishöhlen bekannt, von denen zwei 50 bis 70 m tief sind. Die Längsprofile zeigen denselben Typus der Eishöhlen: Einsturzdoline mit seitlichen Höhlengängen. Tiefere Höhlenräume mit kommunizierender Luft sind eisfrei.

Am fast 1800 m hohen Snežnik-Massiv (Krainer Schneeberg) hält sich der Schnee nur in 2 Kluftspalten. Auf dem Plateau des Friedrichsteiner Waldes - Stojna- und am Rog (Hornwald) bei Kočevje (Gottschee), haben wir typische Eishöhlen in den Einsturzdolinen in den Höhen von 750 bis 800 m. Das Längsprofil der Eishöhle am Stojna zeigt eine 45 Grad geneigte Halde, die etwa 60 m tief hinabreicht, im unteren Teil mit Lawinenschnee bedeckt ist und in eine große Eishalle übergeht. Am Boden dieser und einer zweiten Eishalle in einer Tiefe von 105 m sind mächtige Eisbildungen.

Viele Eishöhlen besitzt der Dinarische Karst in Kroatien. Da sind vorläufig 24 Eishöhlen nach Angaben meiner Freunde S. Božičević, M. Malez, E. Pretner und Angaben in der Literatur bekannt. Diese befinden sich fast alle im Gorski Kotar, auf den Bergen Senjsko Bilo, Velebit, Velika und Mala Kapela und in der Lika. Leider verfügen wir über keine nähren Angaben über viele Eis- und Schneehöhlen im Velebit, in den Biokovo- und Dinara-Massiven. Fast alle liegen in einer Höhe von 800 bis 1100 m. Meist sind es sackartige Höhlen mit einem größeren Raum am Grund. In der Lika, am Rande des Srpsko polje unweit Otočac befinden sich 2 Eishöhlen in einer Höhe von nur 450 m. Die Pilarova ledenica (D. Hirc, 1905, 704) bei Mrkopalj in einer Höhe von 925 m, 74 m lang, ist einer der an Eisbildungen reichsten Höhlen.


14°
16°
18°
20°
22°
46°
44°
42°
Julijske Alpe
49
27
1
3
Savinjske Alpe
11
Trnovski gozd
Hrušica
5
Rog
Snežnik
Stojna
G. Kotar
Senj
Bilo
Kapela
Velebit
Donau
Save
Grmeč
Čemernica
Lunjevača
Velebit
Vran
Treskavica
Prenj
Zelengara
Velež
Bjelašnica
Njegoš
Orjen
Lovćen
Rumija
Beljanica
Kucaji
Rtanj
Ozren
Pešter
SCHNEE UND EISHÖHLEN
JUGOSLAWIENS
49 Schnee und Eishöhlen
1 Schnee oder Eishöhle
Staatsgrenze
Grenze der Volksrepubliken
50
0
50
100
150 km

S 56/3

Die Höhlen Bosniens und der Herzegowina sind wenig erforscht. Die wenigen Angaben über dortige Eishöhlen übermittelte mir das Naturschutzamt in Sarajevo und E. Pretner. Wir kennen da bis jetzt nur 15 Eis- und Schneehöhlen auf den bis 2000 m hohen Gebirgen Grmeč, Lunjevača, Vran, Prenj, Velež, Bjelašnica und Zelengora. Am nördlichsten liegt die Eishöhle Čukovac im Massiv Čemernica zwischen dem Fluß Vrbas und dessen Zufluß Vrbanja in einer Höhe von 600 m. Die übrigen Eingänge liegen zwischen 1000 und 1600 m. Zur Zeit der Dürre sind sie noch immer für die Wasserversorgung wichtig, so z.B. in der Vučja Bara, einer Weide in der Höhe von 1300 m zwischen den Massiven Bjelasnica und Baba, westlich von Gacko. Das Vieh weidet da nur so lange wie Eis und Schnee in den Höhlen vorhanden ist.

Über Eishöhlen in Montenegro - Črna Goar - berichtet schon G. Lahner (1915-1919), doch die ersten Veröffentlichungen über die Eishöhlen am Lovćen-Massiv verdanken wir D. Gavrilović (1963, S. 57-68) und E. Pretner (1961, S. 219-235)- Von 20 bekannten Eis- und Schneehöhlen entfallen auf den Lovćen 8, auf den Orjen 5, auf den Durmitor 1 und 5 auf andere Gebiete.

Besonders interessant ist der Lovćen mit Niederschlägen über 4000 mm. Nach Gavrilović befand sich die Schneegrenze im Pleistozän in einer Höhe von 1300 m, die heute die untere Grenze für das Vorkommen von Schneehöhlen darstellt. Die an Spalten gebundenen Höhlen sind durch die Korrosion nachträglich erweitert worden. Gavrilović stellte fest, daß die Schneemengen in den Höhlen mehr von der absoluten Höhe als von der Exposition und der Tiefe abhängig sind. Wie die Pläne zeigen, sind das vor allem vertikale Schächte, von 10 bis 30 m tief, mit kleiner Öffnung. Nach unten geht der Schacht in einen größeren Raum, der Schnee aber in Eis über. Das Eis in den inneren Höhlenräumen entsteht durch das Frieren des Sickerwassers. Die durchgeführten Lufttemperaturmessungen zeigten, daß die Temperatur bei jedem Meter Abstieg um 1,1°C sinkt. In den inneren Eisräumen betrug die Temperatur der Luft von 1,2 bis 2,5°C. Gavrilović behauptet auf Grund der Lufttemperaturmessungen, daß man den ewigen Schnee in den Karsthöhlen unterhalb der Schneegrenze aus dem Mechanismus der Luftströmungen, die in diesen Höhlen im Laufe eines jeden Tages herrschen, erklären muß. Die kalte Luft sinkt nicht nur im Winter, sondern auch im Sommer in diese Höhlen ab. Ähnliche Verhältnisse treffen wir auch in den Eishöhlen am Orjen.

Die Schnee- und Eishöhlen Serbiens am Kalkplateau des Karpatensystems beschrieb J. Cvijić (1895, 81-101). Deren Verzeichnis vervollständigte D. Gavriolvić und D. Petrović (1964, 69-73). Die meisten Eishöhlen entfallen auf die Kalkmassive Kučaj, Beljanica, Devica, Rtanj, Ozren und Suva Planina, die meisten in einer Höhe von 750 bis 1000 m, eine sogar in der Höhe von 1750 m. Cvijić unterscheidet zwar drei Typen der Eishöhlen, die sich jedoch meiner Meinung nach nicht wesentlich unterscheiden. Bei allen Typen führt ein geneigter oder senkrechter Schacht in einen größeren Raum am Grunde, wo der niedrigen Temperaturen wegen (um 0°C und sogar unter 0°) das Sickerwasser Eis bildet. Im ganzen sind in Serbien 15 Eis- und Schneehöhlen bekannt.

In diesem Referat versuchen wir zum erstenmal, einen kurzen Überblick über die Verbreitung der Schnee- und Eishöhlen Jugoslawiens zu geben. Das Thema ist viel zu umfangreich, um die verschiedensten Probleme der Entstehung des Eises, der Eisbildungen, des Schmelzens, der Wirkung der Schnee- und Eismassen auf die Umformung der Schächte und überhaupt das Problem der meteorologischen Verhältnisse in den Eishöhlen zu erörtern.

Wichtig ist auch das Verhältnis des Menschen zu den Eis- und Schneehöhlen. Im vorigen Jahrhundert waren sie wegen des Wassermangels besonders wichtig für die Almen in den Julischen und Steiner Alpen. Die Bewohner des Ternowaner und des Birnbaumer Waldes waren, wenn die primitiven Hauszisternen leer wurden, genötigt, die sogenannten "Ledenice" und "Snežnice" (Eis- und Schneehöhlen) zur Wasserversorgung heranzuziehen. Im vorigen Jahrhundert, also noch keine Kunsteisfabriken in Triest und Görz bestanden haben, wurde Natureis aus den Höhlen in Säcke gefüllt und in die genannten Städte verfrachtet. In den südlichen Karstgegenden, besonders in Dalmatien und Montenegro, wurden gleich nach Kriegsende die Eishöhlen ausgebeutet und das Eis in die Küstenstädte verkauft (D. Gavrilović, 1963, 45-49).

Durch intensive Erforschung des jugoslawischen Karstes und seiner Höhlen, besonders im Süden, wird sich die heutige Zahl von 212 Eis- und Schneehöhlen (von der Zahl entfällt auf Slowenien 138, auf Kroatien 24, auf Bosnien und die Herzegowina 15, auf Montenegro 20 und auf Serbien 15) wesentlich vermehren.

Literatur:

Božičević, S., 1955 — Ledeno podzemlje. Speleolog VII/3, Zagreb

Cvijić, J., 1895 — Pećine i podzemna hidrografija u Istočnoj Srbiji. Glas Srpske kraljevske akademije, knj. XLVI, Beograd.

" " 1924 — Geomorfologija I, Beograd.

Draškoci, J., 1955 — Pećine, bezdane i potkapine izvorišta Resave, I. jugoslov. spel. kongres, Postojna.

Fugger, E., 1891 — Eishöhlen und Windröhren. 24. Jahresbericht der k.k. Oberrealschule in Salzburg, Salzburg.

Gams, I., 1962 — Triglavsko brezno. Naše jame III/ 1961. Ljubljana.

Gavrilović, D., 1963 — Sneznice na Lovcenu, speleoloska ispitivanja. Beograd.

" " 1963 — Neki primeri iskorišćanja pećinskog snega i leda u našoj zemlji. Poljudno naučni zbornik Zemlja i ljudi, sveska 12, Beograd.

Habič, P., 1964 — O podzemeljskih ledenikih na Nanosu. Naše jame V/1963. Ljubljana.

Hacquet, B., 1784 — Oryctographia carniolica, III, Leipzig.

Hirc, D., 1905 — Prirodni zemljopis Hrvatske, Zagreb.

Hribar, F., 1962 — Temperatur- und Vegetationsumkehrungen in Trnovski gozd. VI. Internationale Tagung für alpine Meteorologie, Bled., Jugoslawien, 14-16 Sept. 1960, Beograd.

Jeannel, R. - Racovitza, E., 1929 — Enumération des Grottes visitées 1918-1927, Biospéleologica LIV, Archives de Zoologie experimentale et générale, Tome 68. fasc. 2, Paris.

Kocbek, F., 1926 — Savinjske Alpe, Celje

Kunaver, P., 1949/50 — Podzemski ledeniki, Proteus XII, Ljubljana.

Kunaver, J., 1969 — Nekaj rezultatov speleoloških raziskav v Kaninskem pogorju 1963-1967. Naše jame 10/1068, Ljubljana.

Melik, A., 1948 — Jugoslavija, zemljepisni pregled, Ljubljana.
" " 1954 — Slovenski alpski svet, Ljubljana.
" " 1963 — Slovenija, geografski oris I. Ljubljana.

Michler, I., 1949/50 — Velika in Mala ledena jama v Trnovskem gozdu, Proteus XII, Ljubljana
" " 1951/52 — Velika ledena jama v Paradani (poročilo Društva za raziskovanje jam). Proteus XIV/9, Ljubljana.

Petrović, D., 1951 — Sliv Zlotske reke. Srpska akademija nauka. Zbornik radova Geografskog instituta, knj.1, Beograd.

" " 1964 — Dve ledenice na Kucaju. Glasnik Srpskog geografskog društva. sv XLIV. br. 1. Beograd.

Pretner, E., 1961 — Speleološka istraživanja u Crnoj Gori i spisak ovdašnjih pećina i jama. II. jugosl. speleološki kongres, 1-4.VI.1958. Zagreb.

Remy, A. P., 1953 — Description des Grottes Jugoslaves Glasnik prirodnjačkog muzeja srpske zemlje. serija P, knj. 5-6, Beograd.

Schwalbe, B., 1887 — Übersichtliche Zusammenstellung literarischer Notizen über Eishöhlen und Eislöchter nebst einigen Zusätzen. Mitteil. d. Sektion f. Höhlenkunde d. Österr. Touristenclub, Wien.

Valvasor, J. V., 1689 — Die Ehre des Herzogthums Krain, I. in IV, Laibach.

Q u e l l e n :

Höhlenkataster des Institutes für Karstforschung der Slo. Akademie der Wissenschaften und Künste. Postojna,
Angaben des Naturschutzamtes der Vol srepublik Bosnien u. Herzegowina
Angaben von Jurij Kunaver, Egon Pretner, Srečko Božičević, Mirko Mal und Dušan Gavrilović.

Bericht über die Tätigkeit des Speläo-Laboratoriums des Ostslowakischen Museums in Kosice (Tschechoslowakei)

STEFAN RODA und LADISLAV RAJMAN (Rosnawa / CSSR)

Es ist das Verdienst der Herren Kollegen Dr. Friedrich Oedl und Albert Morocutti aus Salzburg in Österreich, dass mir die Ehre zuteil wurde, hier über unsere bescheidenen Forschungen berichten zu können. Ich danke ihnen auch auf diesem Wege auf das herzlichste! Die Arbeiten, über die ich sprechen werde, betreiben wir zusammen mit meinem Kollegen, Herrn Ing. Ladislav Rajman, als externe Mitarbeiter des Ostslowakischen Museums in Kosice, im Gebiet des südslowakischen Karstes in der Tschechoslowakei seit 1965. Um unsere Aufgaben erfüllen zu können, haben wir im Herbst 1967 das sog. Speläo-Laboratorium bei der Gombasecka-Höhle inmitten des südslowakischen Karstes gegründet. Unsere Tätigkeit erstreckt sich auf mikroklimatische Beobachtungen und auf physikalisch-chemische Vorgänge in den Höhlen, welche mit der Entwicklung und Existenz des Karstphänomens zusammenhängen. An dieser Stelle möchte ich noch bemerken, dass sich unsere Speläologengruppe in Roznava schon seit 1947 mit Höhlenforschungen auf diesem Gebiet befasst. Als bedeutendere Erfolge dieser Gruppe wären die Entdeckung der Gombasecka-Höhle (1951) und der Krasnahorska-Höhle (1964) zu nennen.

Seit der Gründung des Speläo-Laboratoriums wurden schon mehrere Forschungsarbeiten abgeschlossen und darüber möchte ich jetzt in Kürze sprechen.

Um die hochspezifischen Werte des Höhlen-Mikroklimas zu erklären, müssen die physikalisch-chemischen Vorgänge in der Höhle untersucht werden. Der Forscher wird dabei vor eine Fülle von Problemen gestellt, deren Lösung schliesslich zu neuen Erkenntnissen führt, die auch in anderen wissenschaftlichen Disziplinen Verwendung finden. Von diesen und ähnlichen Überlegungen ausgehend, angespornt durch langjährige empirische Erfahrungen aus der Zeit unserer praktischen Entdeckungsarbeiten, aber hauptsächlich durch ausländische Forschungsergebnisse, begannen wir 1965 mit unseren mikroklimatischen Beobachtungen in der Gombasecka-Höhle. Neben dem Speläo-Mikroklima haben wir uns auch mikrobiologischen Beobachtungen gewidmet, um die Voraussetzungen dieser Höhle für medizinische Zwecke, für die Behandlung von Bronchialasthma und der chronischen Bronchitis mit allergischer Äthiologie zu beurteilen. Bei der Wahl des Objektes mussten mehrere Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Neben den medizinischen Voraussetzungen muss die Lokalität möglichst objektive Messergebnisse gewährleisten, was z.B. voraussetzt, dass die Höhle nicht mit äusseren landwirtschaftlichen Kulturen kommuniziert, um eine wesentliche Beeinflussung der Messergebnisse zu vermeiden. Dabei mussten noch die Anforderungen des Fremdenverkehrs berücksichtigt werden, was die Notwendigkeit mit sich bringt, den untersuchten Gang von den zugänglichen Teilen der Höhle zu isolieren.

Unsere Messergebnisse wurden zu einem Manuskript für eine Fachpublikation verarbeitet, wo unsere Werte mit den Angaben der deutschen Fachleute aus der Klutert-Höhle verglichen werden. Zu Beginn dieses Jahres wurde von Dr. Karol Klincko eine experimentelle Behandlung von 34 Patienten mit gutem Erfolg durchgeführt. Nach der endgültigen Verarbeitung der erreichten Ergebnisse wird auch diese Arbeit veröffentlicht werden.

Während der langfristigen komplexen Forschungen über das Speläo-Mikroklima in der Höhle Domica im südlichen Teil des südslowakischen Karstes haben wir einen enormen korrosiven Zerfall des Sintermaterials festgestellt, welcher sich über die gesamte Länge des mächtig entwickelten labyrinthischen Vorderteils der Höhle erstreckt. Der Domicaer Teil des Systems Domica-Baradla befindet sich in hellen Kalksteinen der mittleren Trias bei relativ verschiedener Mächtigkeit der Überlagerungsgesteine. Infolge der bedeutenden Höhe der Innenräume ist diese Schicht am schwächsten dort, wo die Oberfläche beinahe gänzlich denudiert ist. Die Höhlendecke ist hier durch senile Kapillaren stark durchlässig.

Besonders typisch und interessant sind an dem untersuchten Objekt die mikroklimatischen Verhältnisse. Während das Mikroklima in anderen ähnlichen Höhlen durch ein beständiges Regime gekennzeichnet ist und die äusseren Schwankungen einen nur minimalen Einfluss haben, ist das Mikroklima der Domica-Höhle infolge natürliche und künstlicher Kommunikationen stark von der äusseren Situation abhängig, was auch unsere Messungen bestätigt haben.

Im Verlaufe der Forschungen haben wir unsere Aufmerksamkeit insbesondere der Menge und dem Ursprung allochtoner Ablagerungen und ihrer Existenz im neuen Milieu zugewandt. Es interessierte uns die eventuelle korrosive Wirkung dieser Stoffe als Produzenten destruktiver Komponenten. Im Mittelpunkt unseres Interesses stand eine grosse Menge - ca. 10 - 12.000 m^3 - von Anschwemmungen lössartiger Konsistenz, welche das gesamte Flussbett des Hauptganges bedeckt. Ein kleiner Teil dieser Ablagerungen hat seinen Ursprung im normalen hydrologischen Regime des Karstes. Der Grossteil aber, ca. 80 %, wurde durch Hochwasser nach zwei Wolkenbrüchen in den Jahren 1963 und 1964 aus der landwirtschaftlich bearbeiteten Umgebung des Höhlensystems angeschwemmt.

Bei unseren Beobachtungen des korrosiven Sinter-Zerfalls besonders in den trockenen Teilen der Höhle sind wir zu dem Schluss gekommen, dass neben der gegebenen geologischen Situation (dünnschichtige und sehr durchlässige Überlagerung mit teilweise denudierter Oberfläche), welche schon an sich ein Austrocknen und damit auch einen mechanischen Sinter-Zerfall verursacht, noch ein chemischer, destruktiv wirkender Faktor zugegen sein muss. Dabei haben wir die Möglichkeit einer Anwesenheit korrosiver Stoffe, die auf geologischem Wege in die Höhle gelangt wären, ausgeschlossen. Unsere Annahme wurde durch die mikroklimatischen Messungen und durch die Messungen der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre bestätigt. Für die Bestimmung der CO_2-Menge, die infolge oxidativer Prozesse im organischen Teil der Anschwemmungen entsteht, haben wir die folgende Methode entwickelt:

Zehn Glaskolben zu je 2 Litern Inhalt wurden mit einem durchbohrten Gummistopfen versehen, durch welchen ein Glasrohr soweit hindurchgesteckt wurde, dass es 5 cm über den Kolbenboden reicht. Auf das obere Ende des Rohres wurde ein Gummischlauch gesteckt, dessen Durchmesser einen luftdichten Anschluss von Indikator-Röhrchen gestattet. Die Öffnung wurde mit einem Glasstopfen verschlossen.

Die so vorbereiteten Glaskolben haben wir zunächst eine Woche lang in geöffnetem Zustand in der Höhle belassen. Nach dieser Zeit wurden in die Gefässe verschiedene Mengen des angeschwemmten Materials, teils aus 5 cm und teils aus 20 cm Tiefe eingewogen, worauf die Kolben verschlossen und direkt in der Höhle inkubiert wurden. Nach bestimmten Zeitintervallen wurde der CO_2-Gehalt in den Kolben mit dem Drägergerät bestimmt. Zum Abschluss der Probeserie wurde das Gasvolumen in den einzelnen Kolben bestimmt.

Informativ haben wir die annähernde CO_2-Produktion pro Tag berechnet. Die Ablagerungen in der Höhle befinden sich auf einer Fläche von ca. 5.000 m^2. Als produktive Schicht wurden die oberen 10 cm angesehen. Das bedeutet, dass am intensiven Oxidationsprozess ungefähr 500 m^3 der Ablagerungen beteiligt sind, was bei einem Gewicht von 1,8 kg pro Liter 900 t bedeutet. Bei einer Durchschnittsproduktion von 6,6 ml CO_2 pro kg Ablagerung und Tag stellen wir eine CO_2-Tagesproduktion der gesamten Ablagerung von 5.940 l fest. Diese Menge ist aber wahrscheinlich noch grösser, da auch die tiefer gelegenen Schichten CO_2 liefern können, wenn auch in weit kleineren Mengen. Dies erklären wir uns durch die Dichte des betreffenden Materials, welche eine intensivere Gasdiffusion verhindert.

Im Rahmen der Forschungsaufgaben des Speläo-Laboratoriums haben wir weiter Fragen der Genetik des Karstphänomens der Ochtinska Aragonithöhle im Gebiet des gemerischen Erzgebirges bearbeitet. Da diese Höhle für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird, entsteht für die qualitative und quantitative Existenz dieser durch ihr Formenreichtum einzigartigen Höhle eine neue Situation, welche aus Naturschutz- und Dokumentationsgründen die Erklärung einiger genetischer Vorgänge notwendig macht.

Die Entwicklungsetappen der Höhle

Im älteren Paläozoikum sedimentierte das organogene Schichtensystem, welches im Silur und Devon zu antiklinalen und synklinalen Bändern verfaltet wurde. Im Karbon und Perm wurde dieses Gebiet vom Meere überschwemmt.

Der Beginn der hydrothermalen Vererzung und der Metasomatose ist an die tektonische Etappe der Entstehung gemerider Granite gebunden, deren Alter von Kantor (1959) mit der Methode A/K^{40} auf ca. 96 Millionen Jahre bestimmt wurde, infolgedessen sie der oberen Kreide entsprechen. In derselben Zeit kam es auch zur Metasomatose der Kalksteine und zur Entstehung der Ankerite. Die hydrothermale Phase ist durch die Entstehung von Pyrit- und Quarzadern vertreten. Im Tertiär und Quartär begannen die Ankerite zu verwittern. Dabei kam es zur Ausschwemmung von Ockern, wodurch die Höhlenräume entstanden sind. Dieser Prozess vollzieht sich noch in der Gegenwart.

Als älteste treten in der Höhle verschlossene Risse auf, nach denen der Kalkstein tektonisch zerschlagen und die einzelnen weissen und blaugrauen Schichten gegeneinander verschoben und stark verfaltet wurden. An diesen Rissen entstehen die kleinen Aragonitgebilde. Ein zweites System bilden die eingeschlossenen tektonischen Störungen, in denen die üppigsten Aragonitgebilde entstanden sind. Ein drittes System bilden schliesslich mächtige offene Spalten ohne Aragonitgebilde, welche als Kommunikationen für das Oberflächenwasser dienen.

Experimenteller Teil

Im Rahmen unserer experimentellen Forschungen haben wir im Verlauf eines Jahres die mikroklimatische Situation der Höhlenräume studiert. Grosse Aufmerksamkeit haben wir weiter der chemischen Zusammensetzung des Speläo-Aerosols gewidmet. An Proben, die für das untersuchte Objekt charakteristischen Konkretionen entnommen wurden, wurden Beweisreaktionen für Aragonit durchgeführt, chemische und Spektralanalysen vorgenommen und mikroskopische Präparate und Röntgenogramme angefertigt.

Unser Ziel lag bei der Bearbeitung dieses Problems darin, anhand allgemeingültiger Theorien und eigener experimenteller Erkenntnisse die Entstehung des Aragonits und der exzentrischen Formen unter den Bedingungen der Ochtinska Aragonithöhle zu erklären. Im Laufe unserer Forschungsarbeiten sind wir zu der Ansicht gekommen, dass das Vorkommen von Aragonit in kristalliner Form an dieser Lokalität nicht nur für die exzentrischen Gebilde, sondern auch für die anderen morphologisch abweichenden Konkretionen des kristallinen Kalziumkarbonats typisch ist. Aus diesem Grunde haben wir beschlossen unsere Studie in zwei Aufgaben aufzuteilen. Einerseits ist die Entstehung des Aragonits zu klären und andererseits die Art und Weise der Entstehung der exzentrischen Gebilde.

Von der Struktur der Überlagerung und der eigentlichen Kalksteinmasse ausgehend, sind wir zu dem Schluss gekommen, dass die Bedingungen für die Aragonitbildung direkt im Muttergestein zu suchen sind. Anhand der geologischen Situation stellten wir fest, dass die Bildung von Aragonit durch erhöhte Temperaturen sehr unwahrscheinlich ist. Im Gegenteil, wir neigen zu der Ansicht, dass die Aragonitbildung durch die Anwesenheit verschiedener Elemente im Muttergestein bedingt ist. In der Literatur wird als Vorbedingung einer Aragonitkristallisierung allgemein die Anwesenheit von zweiwertigen Ionen - Sr, Ba, Mg und Pb - angegeben. Es war also notwendig festzustellen, welches der genannten Ionen in unserem Falle der dominierende Faktor war. Als erste haben wir Blei-Ionen ausgeschlossen, welche weder in den Proben vom Muttergestein, noch aus den exzentrischen Gebilden nachweisbar waren. Barium-Ionen wurden zwar spektralanalytisch festgestellt, jedoch nur in Spuren. Also auch diese konnten die Entstehung der Modifikation nicht beeinflussen. Magnesium-Ionen wurden im Muttergestein in einer Konzentration von 0,14 % festgestellt, nicht aber in den Exzentriken. Ihre Anwesenheit ist demnach auch nicht ausschlaggebend. Aus den vorgenommenen Spektralanalysen geht eindeutig die Anwesenheit von Strontium-Ionen im Muttergestein und auch in den exzentrischen Gebilden hervor. Demnach kommt dem Strontium die entscheidende Rolle bei der Aragonitbildung zu.

Die für die Aragonitbildung günstigen Voraussetzungen einer schnellen Präzipitation sind auch vorhanden. Der Karstkern ist nur wenig durchlässig, was ein Durchsickern von Niederschlagswasser stark verhindert. Auch der qualitative und strukturelle Charakter des Karstgesteins verleiht diesem eine nur minimale Durchlässigkeit (der Kalkstein ist kompakt, feinkörnig kristillin mit einer feinen, mit Ocker ausgefüllten Tektonik). Wie die Feststellungen über die klimatischen Bedingungen zeigen, hat sich in der Höhle wahrscheinlich ein Zustand entwickelt, bei dem ein ständiges Verdampfen des Sickerwassers gesichert ist. Die relative Luftfeuchtigkeit lag unter 100 %. Für das Angeführte spricht auch die Tatsache, dass Gravitationsformen unter den Gebilden nur vereinzelt vorkommen. Unter diesen physikalischen Bedingungen konnte sich an den Kristallen ein dünner Karstwasserfilm bilden, der schnell entgasen konnte. Die dabei intensive Wasserverdampfung führte zu einer Übersättigung der Lösung, wodurch die Aragonitbildung wiederum günstig beeinflusst wurde.

Durch subjektive Beobachtungen konnten wir in der Höhle vier genetisch unterschiedliche Gebildetypen feststellen:

1. Tropfsteinförmige Gravitationstypen
2. Aerosoltypen
3. Nadelförmige exzentrische Typen
4. Spiralenförmige exzentrische Typen.

Diese Typen können je nach der Mannigfaltigkeit ihrer Formen noch in weitere morphologische Gruppen unterteilt werden. Sie unterschieden sich aber im genetischen Sinne nicht vom jeweiligen Haupttyp.

1. Die tropfsteinförmigen Gravitationstypen sind durch alle bekannten Formen vertreten und enthalten auch Aragonit.
2. Der Aerosoltyp ist hier reichhaltig durch feine kristalline Nadeln vertreten. Mikroskopisch erscheinen sie als farblose und durchsichtige Kristalle mit glatten Flächen und geraden Kanten. Es handelt sich hier eigentlich um eine Begleitform auf der Oberfläche der eigentlichen Hauptgebilde, die eine innere Kapillare besitzen. Diese Feststellung erbringt gleichzeitig den Beweis, dass diese Form im Gegensatz zu dem tragenden Gebilde nicht aus der Mutterlösung entsteht, da diese die Oberfläche nicht benetzt.
3. Die nadelförmigen exzentrischen Typen stellen einen grossen Teil des Höhlenschmucks dar. Morphologisch sind es gläsern aussehende, weisse, makrokristalline Nadeln. Die grösseren Exemplare von ihnen weisen eine Anordnung der Nadeln in Segmenten auf. Die untersuchten Gebilde kommen in der Höhle entweder einzeln oder in büschelförmigen Gruppierungen vor. In beiden Fällen finden sich auch ungeordnete verzweigte Nadeln. Einzelne Nadeln oder Büschel befinden sich entweder als selbstständige Gebilde an den Höhlenwänden oder auf einer kryptokristallinen Unterlage. Eine gemeinsame Eigenschaft aller nadelförmigen Typen ist ihr Wuchs, der immer geradlinig erfolgt und bei Veränderung der Wuchsrichtung oder bei Verzweigung nie Krümmungen aufweist, sondern immer einen bestimmten Winkel bildet. Die Wuchsrichtung wird nicht durch die Gravitation beeinflusst.

Wie unsere Beobachtungen an Schliffbildern zeigen, können wir das Vorhandensein einer inneren Aragonit- oder Opalkapillare ausschliessen. Diese Feststellung wurde auch durch Auflösen in schwacher Salzsäure bestätigt. Der Transport der Mutterlauge erfolgt also an der Oberfläche der Nadeln. Infolge der vollkommenen Benetzbarkeit der Aragonitkristalle bildet die Lösung an ihrer Oberfläche einen Film, der eine dem Kapillareffekt ähnliche Bewegung aufweist. Vorbedingung für die Bildung dieses Filmes ist eine verhältnismässig hohe relative Luftfeuchtigkeit, die eine zu grosse Wasserverdampfung verhindert. Auch der Zufluss der Lösung muss in gewissen Grenzen bleiben. Für das Wachstum des eigentlichen Gebildes ist eine gesättigte Lösung nötig, aus welcher CO_2 frei diffundieren kann.
4. Die spiralenförmigen Typen bilden die Dominante des Höhleninterieurs. Sie kommen hier entweder einzeln oder als verzweigte, meistens an einer gemeinsamen Unterlage sitzende strauchartige Gebilde vor (ähnlich wie die sog. Eisenblüte flos-ferri). Einzeln stehende Gebilde dieses Types sind seltener als die strauchförmigen.

Morphologisch sind es Zweige mit annähernd kreisrundem Querschnitt. Sie sind verschieden gekrümmt, manchmal verzweigt und wiederum verwachsen. Die Dicke dieser Zweige, die sich von der Basis zur Spitze hin verjüngen, beträgt 2 mm bis 1 cm. Manchmal treten an ihnen während des Wachstums entstandene Verdickungen auf. Diese Gebilde erreichen in der untersuchten Höhle eine maximale Länge von ca. 25 cm.

Der untersuchte Typ hat eine kryptokristalline Struktur mit einem matten Glanz am Bruch. Charakteristisch ist die innere, in Längsrichtung verlaufende Kapillare, welche wir nicht nur auf chemischem Wege, sondern auch mikroskopisch an Schliffbildern identifizieren konnten. Die Kapillare kann entweder aus Aragonit bestehen oder sie kann auch durch ein Röhrchen aus kolloidem SiO_2, also Opal, gebildet sein. Im zweiten Falle kann man sie durch Auflösen der Konkretion in schwacher Salzsäure herauspräparieren.

Vorbedingung für die Entwicklung dieser Gebilde waren besondere physikalisch-chemische Verhältnisse als Folge der geologischen Situation in der Zeit ihres Wuchses. Ein grundlegender genetischer Faktor war dabei das Vorhandensein stark übersättigter Lösungen und eine kolloide Ausfällung von $CaCO_3$. Wir setzen voraus, dass während des Wuchses dieser Gebilde im Höhlenmilieu eine niedrige relative Luftfeuchtigkeit und ein niedriger partieller CO_2-Druck herrschte. Ausschlaggebend für die Entwicklung spiralförmiger Gebilde ist ein nur geringes Durchsickern der Lösung an die Oberfläche des Muttergesteins, also an die Höhlenwände. Das langsame Durchsickern ist dabei schon durch die Struktur des Gesteins gegeben, welches durch eine grosse Menge feiner Risse gekennzeichnet ist. Diese Risse sind in der Regel mit limonitischem Ocker ausgefüllt, der infolge seiner feinkörnigen (kolloiden) Struktur einen beträchtlichen hydrodynamischen Widerstand leistet und infolgedessen nur kleine Mengen der Lösung in die Kapillaren der Exzentren durchlässt. Die Lösung, an den Gipfel der Kapillare im Gestein gelangt, kristallisiert infolge der schon erwähnten Umstände schnell aus, wobei auch im neuabgesetzten Material eine Fortsetzung der Kapillare entsteht. Die Wuchsrichtung und eventuelle Änderungen dieser Richtung werden durch die jeweilige augenblickliche Stelle und

Richtung der Kristallisation am Rande der Kapillare bestimmt. Wir nehmen an, dass dieser Vorgang durch ein Zusammenspiel von Konzentration, Lösungsangebot und der augenblicklichen mikroklimatischen Bedingungen bestimmt wird. Der Transport der Lösung im Gebilde selbst erfolgt durch die Wirkung von Kapillarkräften, so dass auch ein Wuchs gegen die Gravitation möglich ist. Die vertikale Höhe des ansteigenden Gebildeteile ist umgekehrt proportional zum Kapillarenlumen und wird durch das Jurin'sche Gesetz bestimmt:

Wenn man in eine Lösung mit der Dichte "s" und einer Oberflächenspannung "γ" eine Kapillare taucht, deren Lumenhalbmesser "r" ist, wobei die Kapillare mit der Lösung einen Randwinkel "α" bildet, steigt die Flüssigkeit in der Kapillare um "h" cm über die Ebene des umliegenden Flüssigkeitsspiegels. Mathematisch ausgedrückt hat die Beziehung folgende Form:

$$h = \frac{2\gamma \cdot \cos\alpha}{s \cdot g \cdot r}$$

g = Gravitationsbeschleunigung

Die Berechnung wollen wir in diesem Falle nicht durchführen, obwohl wir die meisten Grössen kennen (γ, α, g, s). Die Kapillarenlumen liegen nämlich in einer so breiten Spanne, dass wir zur genauen Bestimmung der vertikalen Höhe der Lösung auch die Werte des hydrostatischen Druckes hinzurechnen müssten, der im selben Sinne wie die Kapillarkraft wirkt. Der hydrostatische Druck in der Gesteinskapillare ist aber von Fall zu Fall verschieden und kann sich auch durch den Einfluss verschiedener besonders meteorologischer Faktoren ändern.

In vereinzelten Fällen konnten wir in der untersuchten Höhle eine Kombination der Typen 3 und 4 identifizieren. Bei diesen Typen hat sich auf den kristallinen Nadeln ein kryptokristalliner Aragonitüberzug gebildet. Der Übergang zwischen diesen morphologischen Aragonitformen ist sehr schroff. Diese Kombinationen sind wahrscheinlich infolge einer lokalen Veränderung der Konzentration und des Lösungsangebotes, bedingt durch eine Erweiterung der Gesteinskapillaren (durch Korrosion) entstanden. Der Kristallisationsmechanismus dieses Überzuges ist nach unserer Meinung identisch mit dem Werdegang der herkömmlichen Sinterüberzüge, was auch die allenfalls senkrechte Stellung dieser Gebilde an der Höhlendecke beweist.

Ein Teil aller Typen, insbesondere aber der spiralförmigen, weist eine gelbbraune bis braune Tönung auf. Die Färbung ist dabei immer an einer Seite und in einer Richtung am dunkelsten und umgekehrt, gegen die andere Seite zu hellt sich der Farbton auf, gegebenenfalls verliert er sich ganz. Wir haben festgestellt, dass diese dünne Farbschicht im Gegensatz zu der reinen Konkretion einen hohen Eisengehalt hat. Demnach betrachten wir als erwiesen, dass es sich um sekundär aufgetragenen Ocker handelt. Dass diese Schicht nicht aus der Mutterlösung stammt, beweist der rein weisse Querschnitt der Konkretion und ihr nur spurenweiser Eisengehalt. Der Ursprung dieses Materials ist immer mechanischer Art und das Auftragungsmedium ist Luft oder Wasser. Durch strömendes Wasser- bei hohem Wasserstand - wurde vorhandener Ocker abgeschwemmt, wonach sich dieser auch an Konkretionen absetzte, die sich eine gewisse Zeit lang unter Wasser befanden. In diesem Falle handelt es sich also um eine leicht entfernbare, im allgemeinen dickere, aufgetragene Schicht.

Die Verfärbung der höher gelegenen Gebilde, besonders an der Höhlendecke vollzog sich durch die Luft. Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit unter 100 % konnte die Oberfläche des angeschwemmten Ockers, der meist in dünnen Schichten auf nichtdurchnässter Unterlage gelagert ist, austrocknen und durch Luftströmungen weggeweht werden, um an den vorspringenden Gebilden erneut abgesetzt zu werden. Diese Erscheinung datiert sich in der Entwicklung des untersuchten Objektes als die jüngste und direkt abhängige von den augenblicklichen mikroklimatischen Verhältnissen. Ausser der normalen, durch Raumgradiente bedingten Zirkulation der Höhlenatmosphäre spielen hier Mikroströmungen eine wichtige Rolle.

Wenn wir die Formen der Konkretionen in mehreren Höhlenlokalitäten betrachten, können wir den Schluss ziehen, dass die einzelnen Typenserien in ihnen den für die jeweilige Entwicklungsstufe charakteristischen Komplex an Faktoren widerspiegeln. Wir sind der Ansicht, dass jedes genetische Entwicklungsstadium durch individuelle physikalisch-chemische Verhältnisse gekennzeichnet ist, die durch ihr Zusammenspiel jeweils optimale Bedingungen für die Entwicklung der einzelnen Typen von Konkretionen schufen. Praktisch bedeutet das, dass die Form und die Entwicklung morphologischer Typen ausser von den allgemeinen geologischen Bedingungen hauptsächlich von dem physikalisch-chemischen Zustand der

Lokalität in der jeweiligen genetischen Zeitspanne abhängig sind. Anhand der Charakteristik der einzelnen Typen, die immer genügend scharf abgegrenzt sind, können dann ihre Entwicklungsbedingungen und somit auch die einzelnen Entwicklungsphasen beurteilt werden.

Sandalja bei Pula - eine bedeutende Ansiedlung der jungpaläolithischen Jäger in Istrien

MIRKO MALEZ (Jugoslawische Akademie der Wissenschaften, Zagreb/Jugoslawien)

Unweit von Pula in Istrien befinden sich in dem Steinbruch Sandalja mehrere "fossile" Höhlen, die mit verschiedenen pleistozänischen Ablagerungen angefüllt sind. Am grössten ist die Höhle Sandalja II (Taf. I, 1), und ihre Ablagerungen sind besonders reich an paläontologischen, paläoanthropologischen und paläolithischen Funden.

Die Schichten dieser Höhle haben sich im oberen Teile der Würmeiszeit abgelagert, und die einzelnen Abschnitte dieser Eiszeit sind durch faunistische Gesellschaften und Entwicklungsstufen paläolithischer Kulturen gut gekennzeichnet. In der über 7 Meter dicken sedimentären Füllung wurden acht Strata abgetrennt. In dem aufgenommenen Profil sind von oben nach unten folgende Schichten deutlich zu erkennen (M. Malez, 1964):

a) Rötlichbraune poröse Erde ohne Steine	100-160 cm
b) Gelblichbrauner kompakter Lehm mit wenig Steinen	190-220 cm
c) Heller, gelblichbrauner bis grauoliver feinglimmerartiger Lehm mit vielen Steinen	120-150 cm
d) Gelblichroter Lehm mit kleinen Steinen	25- 30 cm
e) Dunkelbrauner bis gelblichroter kompakter Lehm	50- 60 cm
f) Gelblichroter bis gelblichbrauner sandiger Lehm	40- 50 cm
g) Rötlichbrauner sandiger Lehm mit Steinen	30- 40 cm
h) Plattenförmiges Gestein mit etwas rotbraunem Lehm	50- 70 cm

Die unterste Schicht h liegt auf einem Mutterfelsen, in dem die Höhle entstanden ist, d.h. sie liegt auf cénomanischen Kalken. Auf Grund des faunistischen Inhaltes und der Entwicklungsstufen der materiellen paläolithischen Kulturen wurde festgestellt, dass die genannten Schichten dieser Höhle zur Zeit des Jungwürms (Würm II-III) und teilweise auch im frühen Postglazial abgelagert worden sind. Eine stratigraphische Übersicht der Ablagerungen von Sandalja II und ihre Beziehungen zu den paläolithischen Kulturen, sowie zu einer relativen Chronolgie des Pleistozäns ist auf der Abbildung 1 im Text wiedergegeben.

Im faunistischen Spektrum von Sandalja II sind im höchsten Prozentsatz Equidae, dann Bovidae, Cervidae und Suidae vertreten. Das ist auch logisch, weil das die hauptsächlichsten Jagdtiere der paläolithischen Menschen dieser Lokalität waren. In den einzelnen Schichten sind faunistische Gesellschaften aus Wärmezeiten oder Kältezeiten vertreten; diejenigen aus Kältezeiten bestehen regelmässig aus einer Kombination alpiner und polarer faunistischer Elemente. Die faunistischen Gesellschaften bestehen ferner aus Vertretern verschiedener Biotopp, u.zw. hauptsächlich aus Tieren, die Steppen und Wälder bewohnen. Diese Erscheinung weist darauf hin, dass während des oberen Pleistozäns in Südistrien eine Landschaft bestand, in der kleine Wälder und Gebüsche mit Wiesen und offenen Räumen abwechselten, was auch heute noch für die Gegenden in Karstgebieten typisch ist.

Fast alle Ablagerungen von Sandalja II enthalten verschiedene Spuren vom Aufenthalt paläolithischer Jäger in dem ehemaligen Höhlenraum. Das sind Handarbeiten in Form verschiedener Typen von Werkzeugen aus Feuerstein oder Knochen, ferner Schmuck- und Kultgegenstände, Feuerstellen, zerspaltene und versengte Tierknochen, und es wurden auch Skeletteile fossiler Menschen entdeckt (M. Malez, 1967).

Der grösste Teil der Schicht a enthält keinerlei Funde; erst im untersten Teil sind Tierknochen, Silexe, Kohlesplitter, usw. eingelagert. Die Artefakte sind vorwiegend durch Mikrolithen vertreten, während Werkzeuge aus Knochen nur sehr selten auftreten. Auf Grund der typologischen Charakteristiken gehören die Artefakte zum Epigravettien, teilweise vielleicht auch zu den Anfangsphasen des Mesolithikums. Die Entdeckung der genannten Funde im unteren Teile der Schicht a beweist, dass die jungpaläolithischen und mesolithischen Bewohner Istriens in der Höhle so lange geweilt hatten, bis sich ihnen der Höhlenraum bis ganz nahe der Decke verringert hatte. Die Verkleinerung des Höhlenraumes ging ziemlich schnell vor sich infolge der intensiven Ablagerung des rötlichbraunen porösen Erdreichs, das in dem an Niederschlägen reichen Postglazial mit dem Wasser von der Oberfläche angeschwemmt wurde.

Die Schicht b ist reich an paläolithischen Funden und, da ihre Dicke über zwei Meter beträgt, wurde sie bei der Untersuchung des Terrains in drei Teile, d.h. in drei Zonen unterteilt, die mit b/1, b/2 und b/3 bezeichnet wurden. Im Grenzteil zur oberen Schicht a wurden zahlreiche Feuerstellen entdeckt. Die Feuerstellen waren zwischen Steinblöcken angelegt, und das Gestein in ihrer Umgebung ist vom Feuer geschwärzt. Die Feuerstellen enthalten ziemlich viel Asche, Kohlesplitter und verkohlte Fragmente von Tierknochen. Um diese Feuerstellen herum sind verschiedene Tierknochen und Zähne verstreut, aber es ist eine regelmässige Erscheinung, dass die grösseren Knochen der Extremitäten und des Schädels in kleinste Stücke zerschlagen sind. Diese osteologischen und odontologischen Überreste gehören vorwiegend zu Wildpferden und anderen grossen Säugetieren, wie z.B. zum Wildrind, Bison, Riesenhirsch, Elentier und dem gewöhnlichen Hirsch. Ausser diesen Tieren sind die Überreste von Wildschweinen und Rehen häufig. Es besteht kein Zweifel darüber, dass all dies die Reste der Jagdbeute der jungpaläolithischen Bewohner dieser Höhle sind.

In dem bis jetzt untersuchten Komplex der Schicht b sind sehr viele Feuersteinsplitter, Nukleuse und typische Artefakte entdeckt worden. Das Feuersteinmaterial ist ziemlich mannigfaltig; denn die paläolithischen Jäger dieser Lokalität verwendeten zwecks Ausarbeitung ihrer Artefakte verschiedenfarbigen Hornstein, Jaspis, Opal, Chalzedon und andere amorphe und feinkörnige Feuersteinknollen. Dieses Feuersteinmaterial stammt teilweise aus Südistrien, aber es ist teilweise auch aus dem Isonzotal und einigen anderen Gebieten des Alpenvorlandes hierher gebracht worden.

Der überwiegende Teil der gesammelten Feuersteingeräte aus der Schicht b gehört zu den Mikrolithen, wobei der Typus des Gravettiens dominiert. Die Artefakte sind durch verschiedene Typen von Schabern, Handspitzen, Kratzern, Sticheln, Kerbspitzen, kleinen Messern, Bohrern, lamellenartigen Klingen, usw. vertreten (Abb. 2; Taf. II, 10, 13, 14). Artefakte aus Knochen sind im Verhältnis zu solchen aus Feuerstein ziemlich selten; sie sind überwiegend durch schön ausgearbeitete Handspitzen vertreten, und einige sind durch Ornamente verziert (Taf. II, 1-6, 11). Dasselbe trifft auch auf die Schmuckgegenstände in Form von durchbohrten Tierzähnen, Muscheln und Perlen aus ausgeschnittenen und geglätteten Segmenten von Schienbeinen einiger kleinerer Tiere zu (Taf. II, 7, 9 und 12). Wesentlich seltener sind Funde, die in die Gruppe der Amulette einzureihen wären (Taf. II, 8). Unter den Schmuckgegenständen sind besonders bedeutungsvoll die Funde von einem durchlöcherten Eckzahn (Taf. II, 7) des gewöhnlichen Hirsches ("Grandl"), der auch noch von den heutigen Jägern als Trophäe geschätzt wird. Solche durchbohrten Hirscheckzähne sind in den europäischen jungpaläolithischen Fundstellen ziemlich häufig und stellen gewissermassen "Leitfossilien" für die materielle Kultur des Gravettiens dar.

Bis jetzt wurden aus den Schichten b und c mehrere tausend Silexe gesammelt. Ein grosser Teil von ihnen sind schön ausgearbeitete und definierte Artefakte, die auf grund ihrer Typologie, ihrer Differenzierung, ihrer mengenmässigen Zusammensetzung, der Art und Weise der Bearbeitung u.a. zu verschiedenen Entwicklungsphasen der Gravettienkultur gehören. Das paläolithische Inventar der erwähnten Schichten stimmt in vielen Einzelheiten mit dem Gravettien überein, das an einigen Fundstellen im benachbarten Slowenien (F. Osole, 1965) und in Norditalien (P. Leonardi & A. Broglio, 1962) entdeckt worden ist. Es muss erwähnt werden, dass auch grosse Ähnlichkeiten zwischen dem Gravettien von Šandalja II mit denen in Südfrankreich, Spanien und Portugal einerseits und denen in Österreich, der Tschechoslowakei und der Ukraine andererseits bestehen.

Die Schicht c ist auch reich an paläolithischen Artefakten, die zu den frühen Entwicklungsphasen der Gravettienkultur gehören. Einige Artefakte aus dieser Schicht zeigen die typischen Charakteristiken der Solutréenkultur, einige andere weisen auf einzelne Fazien des Périgordiens hin.

Die tieferen Schichten d, e, f und g enthalten Feuersteinartefakte, aber in bedeutend geringerer Anzahl als die oben genannten Schichten. Die Artefakte aus diesen tieferen Schichten weisen auf das Aurignacien hin, einige aus der Schicht g besitzen sogar Merkmale des Moustérien. Nur in der untersten Schicht h sind bis jetzt keine paläolithischen Artefakte entdeckt worden.

Im Laufe der mehrjährigen Ausgrabungen sind in Šandalja II auch einige Teile von Skeletten fossiler Menschen gesammelt worden. Entdeckt wurden drei Fragmente vom Schädeldach, eins vom Stirnbein und zwei vom Scheitelbein. Ausser diesen Schädelknochen wurden eine Fingerphalanx und ein Schneidzahn aus dem Oberkiefer entdeckt. Auf Grund der anatomischen und odontologischen Charakteristika gehören alle bisher gefundenen Skeletteile dem fortgeschrittenen fossilen Menschen aus der Gruppe Homo sapiens fossilis an (M. Malez, 1965).

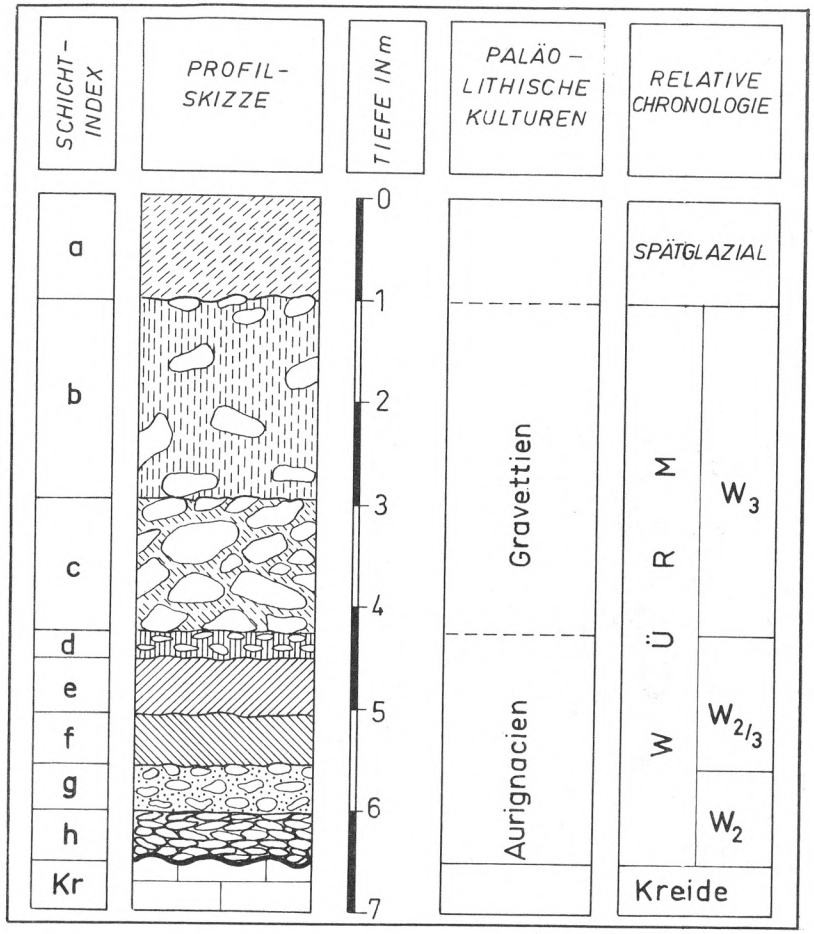
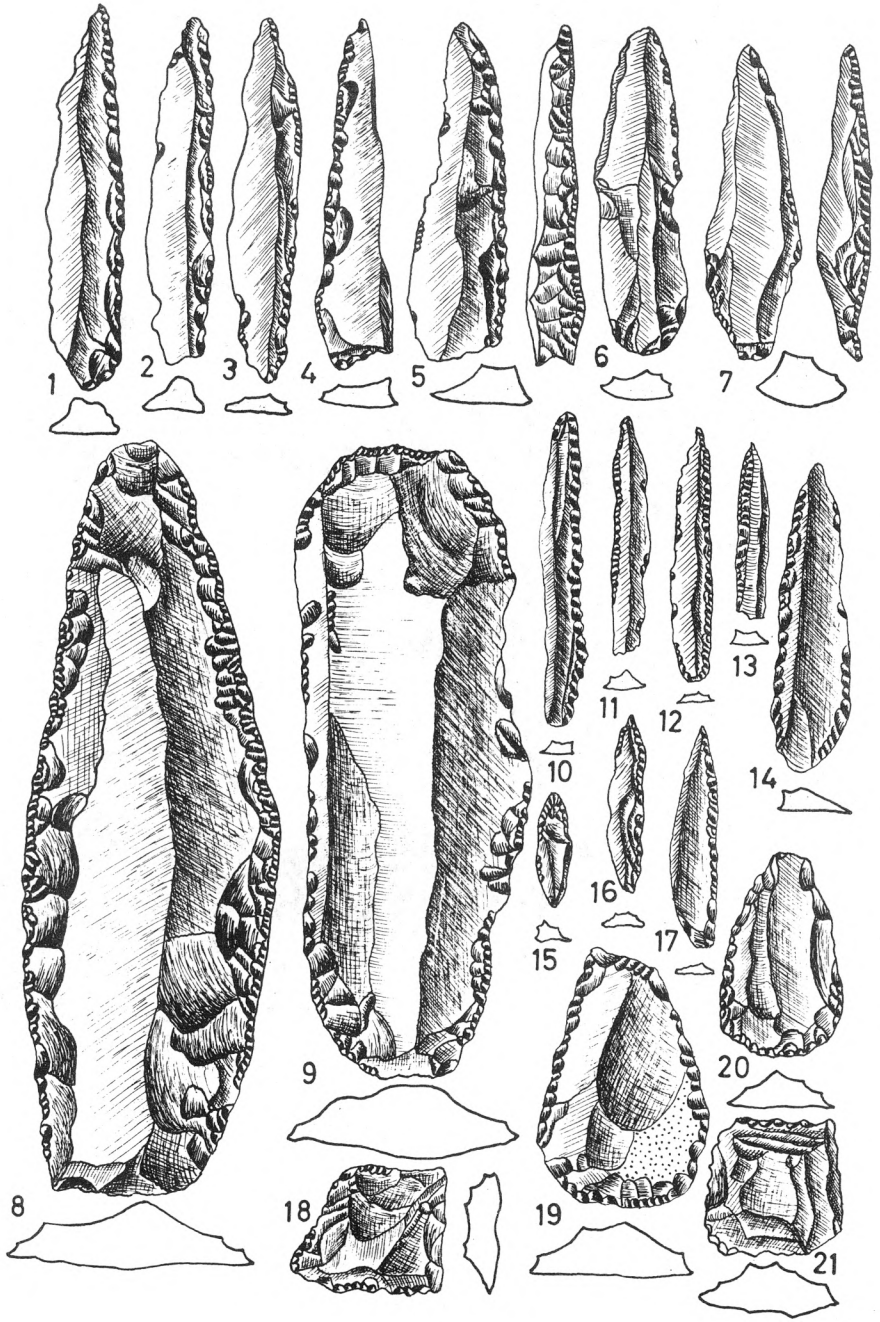
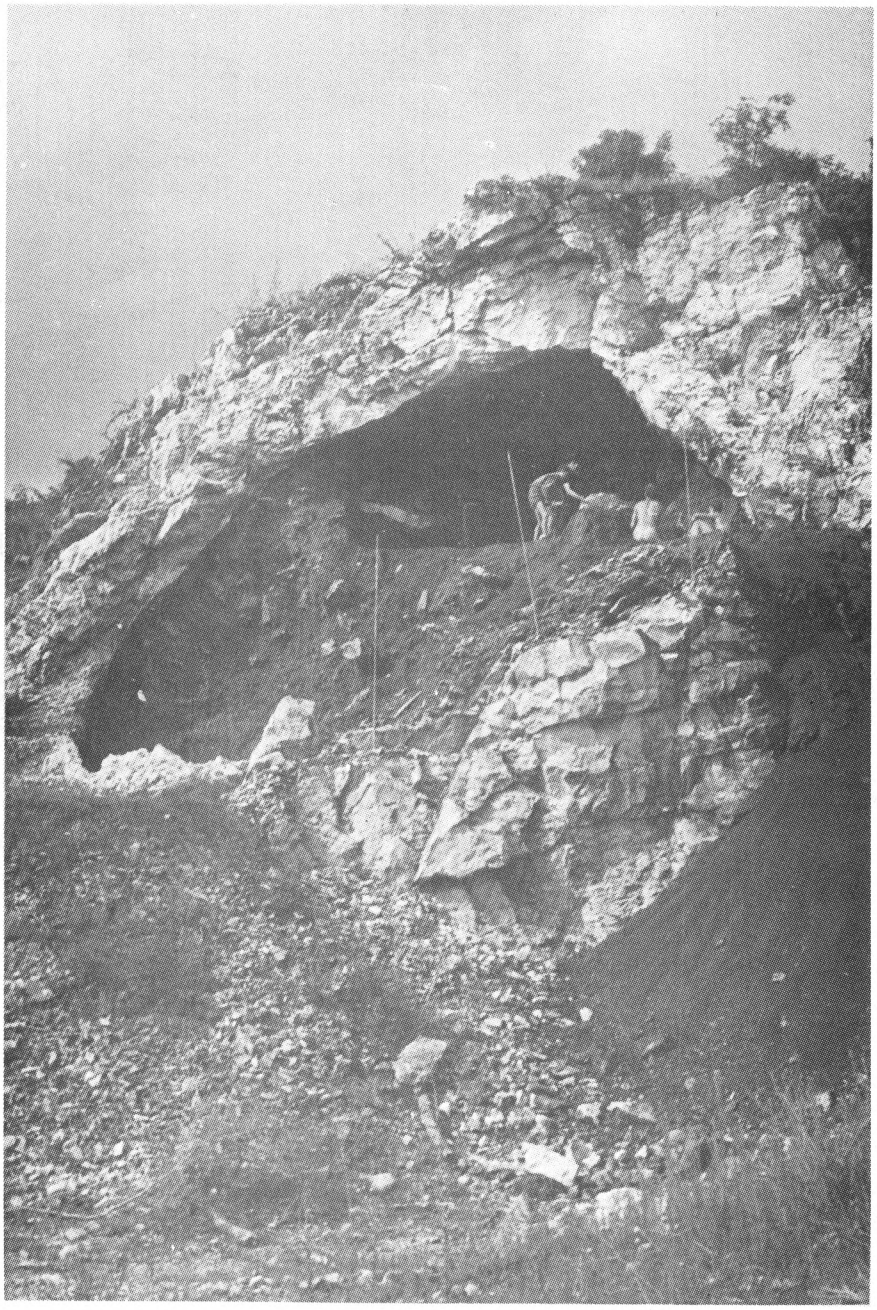


Abb. 1: Stratigraphisches Schema der quartären Schichten von Šandalja II in Beziehung zu den paläolithischen Kulturen und zur relativen Chronologie.

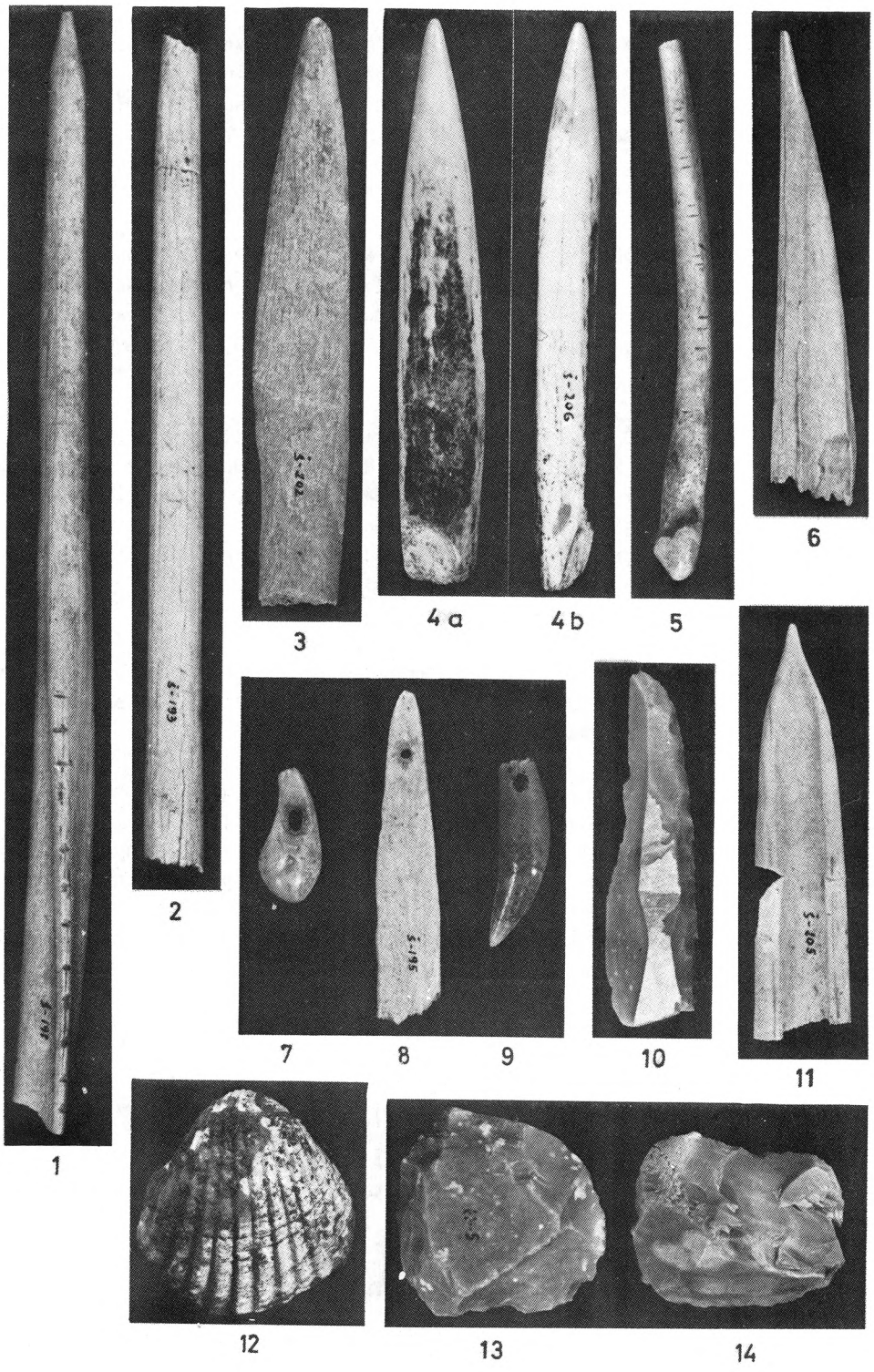
Abb. 2: Verschiedene Typen von Feuersteinartefakten der Gravettienkultur aus dem Mittelabschnitt der Schicht b von Šandalja II. 1/1.





Tafel I.

Blick auf die "fossile" Höhle Šandalja II bei Pula, die bei einer Sprengung im Steint entdeckt wurde und vollkommen mit pleistozänen Sedimenten angefüllt ist.



Tafel II.

Abb. 1 - 6: Verschiedene Typen von Knochenspitzen. 1/1
Abb. 7 - 9: Durchbohrte Zähne und ein Knochenamulett (?). 1/1
Abb. 10: Feuersteinmesserchen. 1/1
Abb. 11: Knochenspitze. 1/1
Abb. 12: Seemuschel als Schmuck. 1/1
Abb. 13 u. 14: Zwei Hochkratzer. 1/1

Die Bestimmungen und Messungen des radioaktiven Kohlenstoffes (^{14}C) an den Proben aus Sandalja II wurden im "Natuurkundig Laboratorium der Rijks-Universiteit" in Groningen (Niederlande) durchgeführt. Die Analysen und Messungen machte Dr. J. C. Vogel, dem ich auch an dieser Stelle für die Mühewaltung und Sorge um die erwähnten Analysen meinen wärmsten Dank ausspreche. Bis jetzt sind die ^{14}C-Messungen an vier Proben aus Sandalja II durchgeführt worden; über die erzielten Ergebnisse hatte mich Dr. J. C. Vogel (1966 und 1967) auf schriftlichem Wege benachrichtigt.

Auf Grund der Messung der Probe aus dem oberen Teil der Schicht b wurde ein absolutes Alter von (GrN-4976) 10.830 ± 50 Jahren vor der Jetztzeit festgestellt. Dies erhaltene absolute Alter weist darauf hin, dass die Endphase der Gravettienkultur in Südistrien noch am Ende des Würm III-Stadials existierte, und dass die ehemalige Höhle Sandalja II noch vor etwa 10.000 Jahren von oberpaläolithischen Jägern bewohnt war.

Die Messungen des radioaktiven Kohlenstoffes an der Probe aus dem mittleren Teile der Schicht b, d.h. aus der Zone der Feuerstelle, wo Überreste des fossilen Menschen entdeckt worden sind, ergaben ein absolutes Alter von (GrN-4978) 12.320 ± 100 Jahren vor der Jetztzeit. Der erhaltene Wert erweist das absolute Alter der Ablagerung des mittleren Teiles der Schicht b, ferner das Alter der Skeletteile des paläolithischen Jägers und schliesslich auch, in welcher Zeit während des Würm-III-Stadials in diesen Gegenden eine typische Gravettienkultur entwickelt war.

Die Probe aus der Schicht e zeigte durch die Messung des radioaktiven Kohlenstoffes ein absolutes Alter von (GrN-5013) 23.540 ± 180 Jahren vor der Jetztzeit, und die Probe aus der Ablagerung f ergab einen Wert von (GrN-4977) 25.340 ± 170 Jahren vor der Jetztzeit. Diese beiden erhaltenen Werte bezeichnen das absolute Alter des Würm-II/III-Interstadials.

Die genannten Werte für das absolute Alter, welche durch die Messung und Bestimmung des radioaktiven Kohlenstoffes(^{14}C) in Proben aus den angeführten Schichten von Sandalja II erhalten worden sind, passen gut in den Rahmen der absoluten Chronolgie des Pleistozäns im weiteren Gebiet der Alpen. Das sind endlich auch die ersten Analysen dieser Art in Istrien, und durch Messungen des radioaktiven Kohlenstoffes an Proben aus dieser sowie aus anderen Lokalitäten wird man mit der Zeit ein vollständigeres Bild über das absolute Alter der einzelnen Ablagerungen und ihres Inhaltes aus verschiedenen Abschnitten des Pleistozäns in unseren Gegenden erhalten.

Literaturverzeichnis:

Leonardi, P. & Broglio, A., 1962	Le Paléolithique de la Vénétie. Ann.Univ.Ferrara, (N.S.), Sec. 15, 1. Ferrara.
Malez, M., 1964	Sandalja bei Pula - ein neuer und wichtiger paläolithischer Fundort in Istrien. Bull.scientifique, 9, 6. Zagreb
Malez, M., 1965	Fundorte fossiler Hominiden in Kroatien. Geol. vjesnik, 18 (1964), 2. Zagreb
Malez, M., 1967	Paläolithische Fundstellen in Kroatien. Acta archaeologica, 18. Ljubljana
Osole, F., 1965	Les stations paléolithiques dans les grottes en Yougoslavie. Nase jame, 7. Ljubljana
Vogel, J. C., 1966	In letteris 20.10.1966. Groningen
Vogel, J. C., 1967	In letteris 7.3.1967. Groningen

Diskussion:

K. EHRENBERG (Wien): Der Referent ist zu seinen Funden sehr zu beglückwünschen. Es darf vermerkt werden, dass einzelne der gezeigten bearbeiteten Knochen sehr ähnlich jüngsten Funden aus der Schlenkendurchgangshöhle sind. Es zeichnen sich da mancherlei Probleme ab, die Zeit- und Klimaverhältnisse betreffend, die hier nur angedeutet werden können.

MALEZ: Die Terrainuntersuchungen in der Sandalja-Höhle sind noch nicht abgeschlossen, aber ich möchte hier bemerken, dass schon bis jetzt ein sehr reiches paläontologisches und paläolithisches Material gesammelt worden ist. Die endgültige komplexe Bearbeitung des gesamten gesammelten Materials sowie die Ergebnisse verschiedener sedimentologischer Analysen (die jetzt im Gange sind) werden einen vollkommeneren Vergleich der Sandalja mit anderen ähnlichen Lokalitäten im weiteren Gebiete der Alpen und so auch mit den Funden und stratigraphischen Verhältnissen in der Schlenkendurchgangshöhle im Lande Salzburg ermöglichen.

Die Grundaspekte der urgeschichtlichen Höhlenbesiedlung in der Slowakei

JURAJ BÁRTA (Slovenská Akadémia Archeologický Ústav, Nitra / CSSR)

Das Gebiet der Slowakei, geologisch durch die karpatenländische Faltung beeinflusst, enthält zahlreiche Karstgebiete, die in Mitteleuropa eine Vorrangstelle einnehmen. Daher ist es selbstverständlich, dass die Urbewohner der Slowakei die hier vorhandenen Höhlenräume für provisorische Siedlungen benützten. Wegen des ziemlich gegliederten Karstreliefs sind die für eine Besiedlung sich gut eignenden Höhlen in der Slowakei nicht so leicht zugänglich wie die Höhlen im Karstflachgebiet anderer europäischen Länder, obschon auch in der Südostslowakei solch ein Karstflachgebiet vorhanden ist. Die Intensität der paläolithischen Höhlenbesiedlungen in der Slowakei dürfte durch die schwierigere Zugänglichkeit beeinflusst sein, denn es ist eine auffallende Disproportion im Vergleich zur Anzahl der paläolithischen Freilandstationen festzustellen.

Die archäologische Höhlenforschung nahm bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts ihren Anfang. Doch die zeitgemässe Datierung der paläolithischen Funde begann erst mit den Kontrollgrabungen und systematischen Ausgrabungen der slowakischen Höhlen seit dem Jahre 1950.

Nach den bisherigen Forschungsergebnissen enthalten die horizontalen Höhlen keine Sedimente aus der älteren Pleistozän-Phase, was mit dem mächtigen Solifluktionseinfluss zumal im Stadial R2 zu erklären ist.

Die älteste Höhlenbesiedlung der interglazialen Sedimente Riss-Würm wurde in der Höhle Čertova pec bei Radošina (12) erfasst. Dies beweisen die spärlichen, doch ausgeprägten Moustérien-Artefakte aus Quarzit und Radiolarit. Diesem Zeitabschnitt ist auch der Holzkohlenfund aus der untersten Schicht der Höhle Jasovská jaskyňa (94) zuzuweisen. Die günstige Lage der Felsnische und der kleinen Höhle in der Travertindecke unweit der Mineralquellen in Bojnice bewirkte das Primat der Probst-Höhle (Prepoštská jaskyňa 18) im ausklingenden Mittelpaläolithikum. Bisher fand man hier die der Art nach reichhaltigsten paläontologischen Funde zusammen mit der Mikrofauna, wodurch es möglich ist, die hiesigen Artefakte in die anwärmende Höchstphase des Stadials W1 einzureihen. Die Erzeugungsgeräte aus Bojnice sind überwiegend durch ein Moustérien in groben Formen vertreten, deren grosse Artefakttypen in nicht geringem Masse durch das Vorhandensein von lokalem Rohstoff beeinflusst wurden. Neben klassischen Moustérien-Typen wurden auch Knochenretuscheure geborgen. Wegen dem Steinartefaktreichtum gehört Bojnice I - Prepoštská jaskyňa zu den bedeutendsten mittelpaläolithischen Höhlenfundstellen der Techechoslowakei.

Die dürftigen Szeletien-Zeugnisse aus Radiolarit aus dem Interstadial W1-2 werden durch die C^{14}-Methode in 38 320 ± 2 480 vor der Gegenwart datiert und stammen aus der Höhle Čertova pec (12) bei Radošina. Dies ist die erste durch die C^{14}-Methode gewonnene Datierung des Szeletien. Weitere stratifizierte Szeletien-Höhlenfunde aus der Sedimentbasis W2 wurden in der Höhle Dzeravá skala bei Plavecký Mikuláš, (1) entdeckt, eine beachtliche Fundkollektion von flachbearbeiteten Blattspitzen aus Feuerstein und Radiolarit werden durch zahlreiche Knochenspitzen verschiedener Varianten des Lautscher-Typus ergänzt. Stratigraphisch zeitgleich sind die spärlichen Mittelaurignacien-Zeugnisse aus der Höhle Jasovská jaskyňa bei Jasovi (94). Auf der alleinstehenden Blattspitze aus der Höhle Domica bei Kečovo (118), die in sekundärer Lage der Flussedimente aufgefunden wurde, ist der markante Einfluss des ungarischen Bükker Szeletiens festzustellen. Kulturgeschichtlich unbestimmt sind einstweilen die wenigen Funde aus der Höhle Aksamitka bei Haligovce (64), wo eine Knochenspitze des Lautscher-Typus aus einem Rengeweih und einige Silex-Lamellen zutage gefördert wurden. Die angeführten Funde wurden erst im Jahre 1954 rehabilitiert, als sie L. VERTES dem Aurignacien II zugewiesen hatte. Diese Eingliederung kann aber kaum als endgültig gelten, denn Steinspitzen von diesem Typus treten nicht nur in Aurignacien- sondern auch in Szeletien-Fundkomplexen auf.

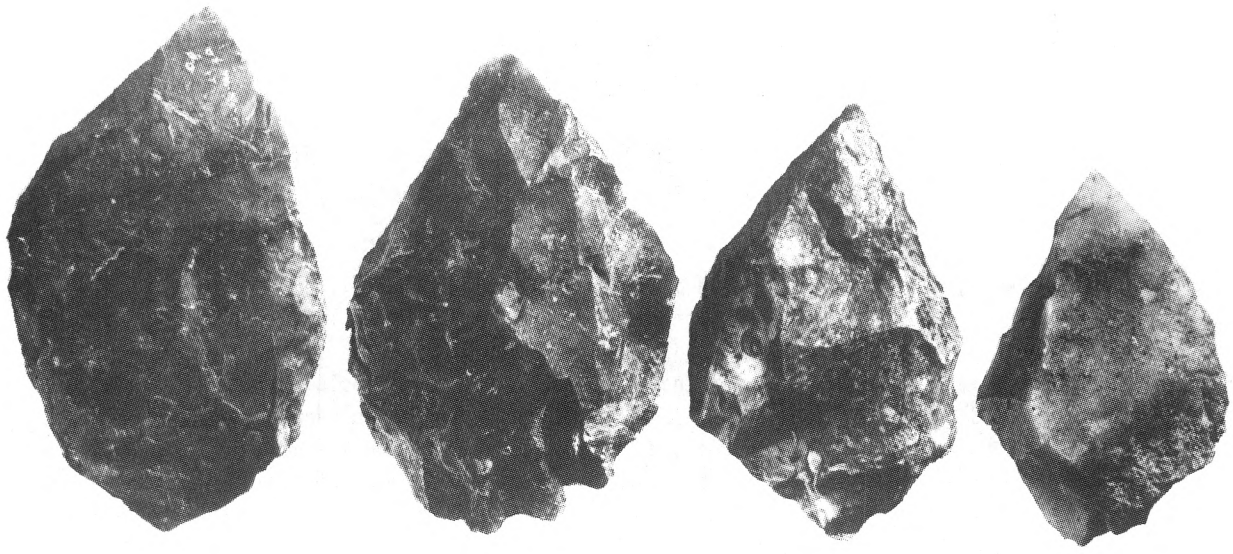


Abb. 1: B o j n i c e I, Höhle Prepoštská (Probsthöhle); Moustérienwerkzeuge.

Abb. 2: P l a v e c k ý M i k u l á š, Höhle Dzeravá skala.

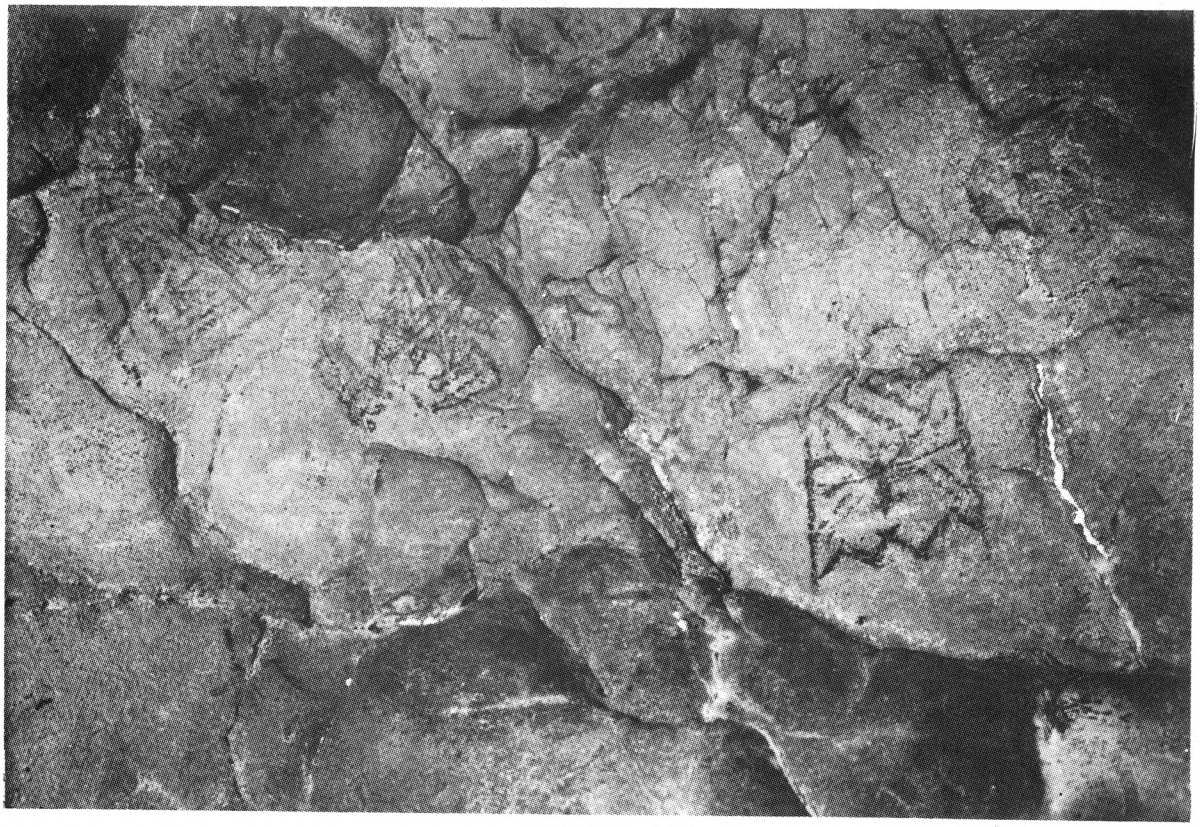


Abb. 3: K e č o v o , Höhle Domica, neolithische (Gemer-Linearbandkeramik) Kohlezeichnungen.

Abb. 4: A) S l a t i n k a n/B., Höhle Dupná diera; Gefäss der Lengyel-Kultur, Ludanice-Gruppe.
B) S p i š s k é T o m á š o v c e , Höhle Čertova szűra; Feuersteinbeil der Kannelierten Keramik.

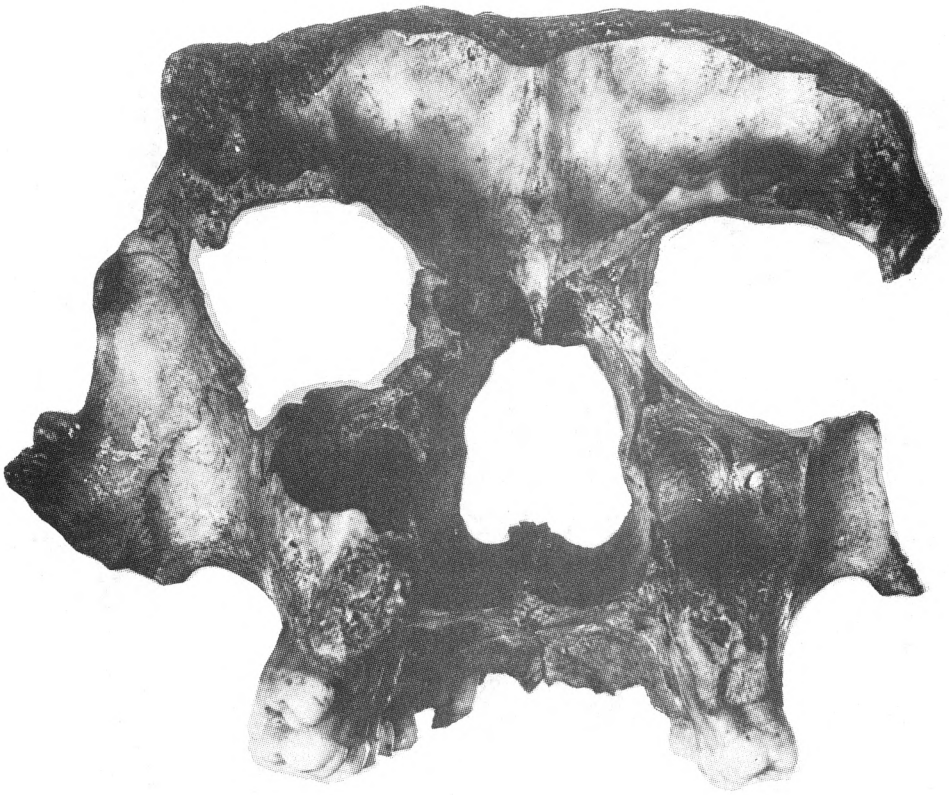


Abb. 5: S i l i c a , Höhle Majda-Hraškova; Hallstattzeitliche Kultmaske vom Schädel (HB).

Abb. 6: S i l i c a , Höhle Bábska diera; Hallstattzeitliche Kultmaske vom Schädel (HB).

Abb. 7: B l a t n i c a , Höhle na Vyhni; Vase der Puchover Kultur.

Abb. 8: C h v a l o v á , Höhle Mincovňa; Funde falscher Münzen aus dem XV. Jahrhundert und Rohstoff zu ihrer Herstellung.

Die Gravettien-Zeugnisse aus dem Interstadial W2-3, die aus der Höhle Dzeravá skala bei Plav. Mikuláš stammen (1) und welche die Szeletien-Funde überlagerten, widerlegten zum erstenmal die Gültigkeit von Mortillets Periodisierung des Paläolithikums im Raum von Mitteleuropa. Die Konzentration der wenig zahlreichen Silizit-Artefakte der Gravettien-Kultur und auf einer Stelle der verstreuten Holzkohlenstückchen in einer vehältnissmässig offenen Höhle, wie es Dzeravá skala ist, führten F. PROŠEK zu der Schlussfolgerung, hier ein kurzfristiges Gravettien-Siedlungsobjekt vorauszusetzen, dessen genauere Konturen durch Kryoturbation verwischt waren.

Aus den Sedimenten W2-3 in der Höhle Čertova pec bei Radošina (12) stammen gravettienzeitliche Feuerstein- und Radiolaritartefakte wie auch durchbohrte und nicht durchbohrte tertiäre Schneckengehäuse, aus denen ein Halsband zusammengestellt werden konnte. Dieses Fundmaterial, wie auch Abfallstücke vom Öffnen der Schneckengehäuse, dürften damit zusammenhängen, dass diese Höhle gewissermassen als Werkstätte vom Schneckengehäuseschmuck oder Schutzamuletten gedient hat. Vom gleichen Alter könnten scheinbar auch die Funde aus der bisher systematisch nicht durchforschten Höhle Velká pec bei Prašnik (8) sein. Die Höhle unter der Nitraer Burg (9) war auch von den Trägern von Gravettien-Kultur besiedelt, doch wurden leider die Höhlensedimente durch die neuzeitlichen Schatzgräber zerstört.

Die magdalenienzeitliche Höhlenbesiedlung in der Slowakei ist vorerst noch problematisch und bloss mit Hilfe der Stratigraphie können ihr - zwar mit Vorbehalt - Einzelsilexe aus den Höhlen Dzeravá skala (1) und Zmavá skala (2) bei Plavecký Mikuláš zugewiesen werden. Die Obsidianartefakte aus der Felsnische Zbojnická chata bei Silická Jablonica (108) sind wahrscheinlich dem Epigravettien zugehörig.

Einstweilen problematisch ist aus kultur-stratigraphischem Blickfeld die paläolithische Besiedlung der Höhle Horná Tufna bei Harmanec (73), wo in braunen lehmigen Pleistozän-Sedimenten nur angebrannte und abgeschlagene Bärenepiphysen bei einer steinumrahmten Herdstelle gefunden wurden. Ähnlich sind die Funde aus der schon längst bekannten Höhle Velka ružinská (90). Höchst beklagenswert ist der Verlust eines nicht vollständigen Menschenschädels vom primitivem Charakter, der mit Mammutmolaren, Silexen und urzeitlichen Scherben in der Höhle Liskovská (48) bereits im Jahre 1871 gefunden wurde. Ein Kinderzahnfund vom Homo sapiens foss. ohne sonstiges paläolithisches Fundmaterial wurde in der Schlucht Malá l'adnica bei Silická Brezová (114) geborgen.

Das Missverhältnis in der Zahl der besiedelten Höhlen im Paläolithikum gegenüber der viel zahlreicheren Besiedlung in den jüngeren urzeitlichen Kulturen bezeugt, dass die Bedeutung der Höhlenbesiedlung für den karpatenländischen Raum der Slowakei im Paläolithikum bisher überschätzt wurde. Einen Beweis hierfür erbringen auch die bisher erfassten paläolithischen Artefakte, die ihrer Zahl nach, ausser Bojnice I, ziemlich bescheiden sind, so dass hier bloss eine kurzandauernde Höhlenbesiedlung scheinbar im Zusammenhang mit saisonartiger Jagd auf die Gebirgsfauna zu vermuten ist.

Im Zusammenhang mit der Wirtschaftsweise als Jäger und Hirten im Neolithikum und Äneolithikum entboten die Höhlen der Slowakei den damaligen Hirten- und Jägerbewohnern überraschend häufig Unterschlupf. Die älteste sporadische neolithische Besiedlung, repräsentiert durch den Keramik-Typus des Starcevo IIb, wurde in der Höhle Domica bei Kečovo (118) ermittelt. In dieser Höhle konnte der genetische Entwicklungsgang durch die Linearkeramik zur klassischen Stufe der Bükker Kultur verfolgt werden. Dadurch wie auch durch die parietalen neolithischen Zeichnungen stellte sich die Höhle Domica unter die klassischen neolithischen Siedlungshöhlen und hatte vielleicht auch eine kultische Funktion. Die Forschungsgrabungen in den benachbarten Höhlen Ardovo (119) und Čertova diera (117) ergaben wichtige chronologische Erkenntnisse für die Unterteilung der Bükker Kultur. Auf die Besiedlungsintensität des slowakischen Karstgebietes und des benachbarten Raumes während der Bükker Kultur weisen die weiteren Höhlensiedlungen hin, und zwar bei Ružin (90, 91), Jasov (94), Drienovec (99), Turňa nad Bodvou (100), Zádiel (103, 196), Silická Jablonica (108), Silica (111), Silická Brezová (114), Slavec (121), Jelšavská Teplica (126), Chvalová (130) und Driencany (133). Aus diesem Raum besitzen wir nach dem bisherigen Wissensstand ein ziemlich zahlreiches Bükker Fundgut, sowohl aus Höhlensiedlungen als auch aus Freilandstationen. Danach dürfte man an zyklische Wanderungswellen denken, indem ein Teil der Sippengemeinschaft, deren landwirtschaftliches Hinterland sich in entferntere Tieflandsiedlungen erstreckte, mit dem Vieh die Heiden des slowakischen Karstgebietes als Weide benützte. Infolge der jährlichen Durchschnittswärme der Höhlen war die Höhle im Winter gegenüber ihrer Umgebung bedeutend wärmer und für eine Winterunterkunft wie geschaffen. Die Winterbesiedlung von Höhlen mit Wohnobdach, wie sie in Domica (118), Silická jaskyňa (111) und in der Höhle Ľudmila (121) gefunden wurde, konnte auch mit einer Herdenüberwinterung zusammenhängen. Der Wassermangel auf den Heiden war auch ein Grund dazu, um die Höhlen für Siedlungszwecke zu erwählen.

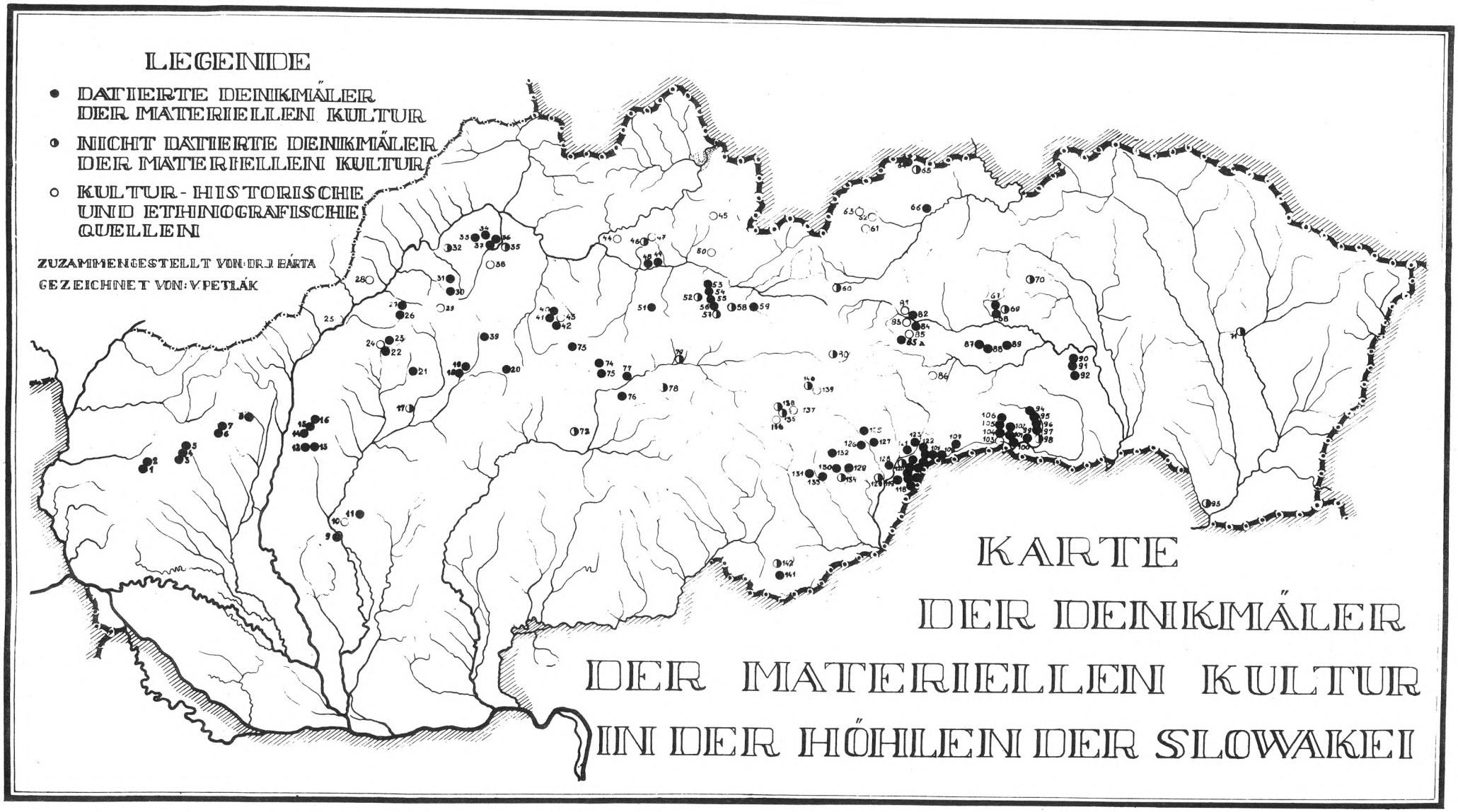


Abb. 9: Karte der Denkmäler der materiellen Kultur in den Höhlen der Slowakei.

Zeugnisse der linearkeramischen Kultur wurden nur in der Zips erfasst. Der Scherbenfund der Želiezovce-Gruppe in der Höhle Puklinová jaskyňa bei Žehra (68) verschiebt das Vorhandensein der Linearkeramik in der Slowakei mehr ostwärts und deutet auf die Migration des Volkes mit der bandkeramischen Kultur in der Nordslowakei auch im Hinblick auf das vermutliche Durchschreiten der Karpatenpässe. Auf der Scherbe von Žehra lässt sich der Einfluss der zeitlich gleichen Bükker Kultur wahrnehmen, wobei diese letztere in den naheliegenden Höhlen bei Poráč (87) erfasst wurde. Hier wurde sie gemeinsam mit der jüngeren Linearkeramik in derselben Schicht gefunden.

Im Bereich der Lengyel-Kultur waren es die Träger der Ludanice-Gruppe, die eine Vorliebe für Höhlensiedlungen aufweisen, z.B. in Plavecký Mikuláš (1), Radošina (12), Moravany nad Váhom (16), Slatinka nad Bebr. (23)*, wie auch für Felsnischen bei Smolenice (3, 4) und Dobrá voda (7) in der Westslowakei, was mit der Ausnützung von Weideplätzen für die Viehzucht im Zusammenhang stand. Die Besiedlung mancher Höhlen in höheren Lagen könnte vielleicht mit der Suche nach neuem Rohstoff in Verbindung gebracht werden. In der Höhle Dzeravá skala bei Plavecká Mikuláš wurden Siedlungsobjekte der Ludanice-Gruppe aus mehreren Phasen aufgefunden, worin ein Beweis für eine langfristige neolithische Ansiedlung besteht. Eben aus diesem Zeitabschnitt stammen in den Höhlen Slatinka nad Bebr. (23), Sulov (33), Omastiná (21), Plav. Mikuláš (1) und Radošina (12) die ersten Funde des Kupfers in der Slowakei.

Von ähnlichem Charakter ist auch die Besiedlung der Badener (kannelierten) Kultur und der ihr nahen Bošáca-Gruppe in fünfzehn Höhlen, vorwiegend in der Nordslowakei. Die Träger dieser Kultur besiedelten oft die Höhlen in hohen Lagen, um Wasser für ihr Vieh zu haben, z.B. kann die Höhle Mažarná bei Blatnica (42) angeführt werden. Diese Höhlensiedlungen der Nordslowakei hängen mit der Besiedlungswelle dieses Gebietes zusammen, was enge Beziehungen zu Polen aufweist. Dies beweisen auch Silexartefaktimporte aus Polen (Spiš. Tomášovce 84, Žehra), die auf Tauschhandel mit diesem Gebiet hinweisen. Zeitweise andauernde Höhlenbesiedlungen belegen die Funde aus Jasov (94), Slovinky (89), Letanovsce (82), Demänová (54), Lisková (48), Lúčky, Omastiná (21), Slatinka n/B (23) und Krásna Ves (22), während die Funde aus Bojnice (18, 19) und Žehra (67, 68) mit Höhlenbesiedlungen zusammenhängen.

In der Bronzezeit ist die Höhlenbesiedlung der West- und Nordslowakei sporadisch und manchmal in Bezug auf die Wende zur Hallstattzeit ziemlich schwer zu unterscheiden. Die Scherben aus der Höhle Strecha (33) dürften vielleicht mit dem Birgwall in Drevenik in Verbindung sein. Die lausitz-silesische Besiedlung der nord- und westslowakischen Höhlen hängt einerseits mit dem nahen Burgwallsystem (Pružina 30, Bojnice 18, 19, Lisková 48, Demänová 53) zusammen, andererseits bezeugt es die Suche nach provisorischen Höhlenunterschlupfen zu Zeiten der Gefahr. Einen Beweis hierfür ergibt auch der Fund einer versteckten Bronzenadel in der Höhle Remová jaskyňa bei Blatnica (40) oder einer Bronzetasse (HB) aus der Höhle bei Dubnica nad Váhom (27). In Anbetracht der wenig intensiven Höhlenbesiedlung ist die Überlegung naheliegend, dass die Höhlen von solchen Menschen, die aus irgendwelchem Grund den Arm der Gerechtgikeit fürchten mussten, aufgesucht und bewohnt wurden. Auf das Hirtenleben deuten vielleicht die hallstattzeitlichen Funde aus der Höhle bei Radošina (12), Slatinka n/B (23), Omastiná (21), Partizánska Lupča (51) und Slovenská Lupča (77).

Überraschend ist die sehr häufige Wahl von Höhlen für Siedlungszwecke in der Hallstattzeit B bis C, wo man geradezu von einer Massenbesiedlung der nord- und südostslowakischen Höhlen sprechen kann. Mehr als 28 Fälle sind uns bekannt. Vorwiegend geht diese Besiedlung aus der bronzezeitlichen Pilinyer Kultur hervor und wird durch die neuerlich herausgestellte Kyjatice-Kultur repräsentiert. Im Gegensatz zu den bisherigen Kenntnissen über die Streuungsdichte bei Siedlungsfunden, die sich in den meisten Höhlen gleich am Eingang konzentrieren, ist für die Höhlenbesiedlung des slowakischen Karstgebietes kennzeichnend, dass sie vorwiegend im hinteren, dunklen Teil, in ständiger Finsternis bewohnt waren, wie z.B. in der Höhle bei Skerešovo (129), Slavec-Gombasek (121), Slavec (122), Ardovo (119) und Silica (111). Neue Forschungsgrabungen erhellten die Situation in der Höhle Chvalovská jaskyňa (130) mit eingemauertem Eingang und Skelettgräbern. Die erfassten zerstreuten Menschenskelettreste in den Höhlen bei Jasov (94), Drienovec (99), Zádiel (104), Silica (109, 111), Slavec-Gombasek (121), Ardovo (119), Kecovo (116), Jelš. Teplica (126) und noch weiteren stellen die Frage nach einer Erklärung für so zahlreiche anthropologische Funde. Als europäisches Unikat gilt der Fund von Kultmasken aus der Schluchthöhle Majda-Hrašková bei Silica (110), die gemeinsam mit den Überresten von zwölf Menschenindividuen gefunden wurden, von denen mehr als die Hälfte von Kinderskeletten stammt. Einen weiteren analogen Fund einer Menschenmaske gewann man in der vertikalen

* Omastiná (21), Pružina (30), Zem. Závada (31), Sulov (33),

Höhle Babská diera bei Silica. Anscheinend weisen diese Funde auf anthropophage Opfer hin. Vielleicht ist hier ein Ausgangspunkt zur Lösung weiterer, schwer zu erklärender menschlicher Skelettfunde in den Höhlen der Slowakei zu suchen. Kultcharakter hat möglicherweise auch der Fund von verbranntem Getreide - Panicum italicum - aus der Ardovo-Höhle. Die mächtige Höhlenbesiedlung während der genannten Kultur wird neben den angeführten Fundstellen durch die Höhlen bei Žehra (67), Háj (101), Turňa nad Bodvou (102), Zádiel (105. 106), Silická Jablonica (168), Silica (112), Silická Brezová (114), Slavec (122, 123), Bretka (128), Jelš. Teplica (125), Skerešovo (121) und Drienčany (133) vertreten.

In der Frühlatènezeit weisen die Zeugnisse aus den Höhlen bei Slavec-Gombasek (121), Silica (111), und Kečovo (116) auf ein wesentlich kleineres Interesse für Höhlenbesiedlung. Barbarenzeitliche Besiedlung mit Latène-Elementen wurde in Ardovo (119) ermittelt. Latènezeitliche Elemente melden sich auch in der intensiven Besiedlung während der Púchov-Kultur. Aus dieser Zeit stammt auch die Münze des Marcus Aurelius aus der Höhle Jasovská jaskyňa (94). Kontakte zu römisch-barbarischen Burgwallen verraten die Funde aus den Höhlen bei Zádiel (106), Rajecké Teplice und Sásová (74, 75), wo auch kultische Anthropophagie erfasst wurde. Diese trat in der Römerzeit markant in der Höhle Liskovská (48) unterhalb des wichtigen Púchover Burgwalls völlig unerwartet hervor. Von den dort gefundenen 48 menschlichen Individuen waren - ähnlich wie in Sásová - die Hälfte Kinder. Ein Teil der Knochen war verkohlt, zerspalten und manche auch durch Hiebwaffe zerstückelt. Trotzdem in der Römerzeit bereits eine ziemlich hohe Zivilisationsstufe vorhanden war, bezeugt dennoch der Fundreichtum der Púchover Kultur aus der Höhle bei Blatnica (41), Lietava (34), Nitr. Pravno, Demänová (54), Malužiná (59), Spiš. Tomášovce (84), dass wir es hier mit einer langfristigen Höhlenbesiedlung zu tun haben und diese Höhlen auch als Refugium dienen konnten.

Die alleinstehenden Funde slawischer Gegenstände aus sieben Höhlen und Felsnischen stehen wahrscheinlich mit Jagdunternehmungen, zumal in der Nähe von slawischen Burgwällen, in Zusammenhang. Ein saisonartiger Jagd- und Refugiumcharakter zeigt sich ebenfalls sowohl bei den mittelalterlichen, als auch bei den neuzeitlichen Höhlenbesiedlungen, im letzteren Fall muss dabei aber noch mit der Versteckmöglichekit für Räuber und Raubschützen gerechnet werden. Alleinstehend ist der Fund einer Falschmünzerei aus dem 15. Jahrhundert in der Höhle bei Chvalová (131). In der Höhle bei Letanovce (83) fand man auch Überreste einer Alchimistenwerkstatt. In der Höhle bei Molca wurde ein Hortfund von Kupfermünzen des 18. Jahrhunderts zutagegefördert.

Trotz mancher Lücken in bezug auf stratigraphische und kulturhistorische Fragen ist die Forschungstätigkeit in den Höhlen der Slowakei soweit fortgeschritten, dass nun im Museum des slowakischen Karstgebietes (Múzeum slovenského krasu) in Liptovská Mikuláš in Zusammenarbeit mit der Slowakischen Akademie der Wissenschaften bereits mit der Errichtung einer selbstständigen speläoarchäologischen Ausstellung begonnen werden konnte, womit die Höhlenbesiedlung in der Slowakei objektiv dokumentiert sein wird.

(Die Numerierung bei den Fundstellen stimmt mit der Bezeichnung der Höhlen auf der beigelegten Karte überein.)

Schriftenverzeichnis:

Bárta, J. Kotázke pravekého osídlenia Liskovskej jaskyne v Chočskom pohorí, Geograf. Časopis VII, 1955

Bárta, J. Chvalovská jaskyňa a piliňské jaskynné pohrebiská v juhosloven - skom krase, Slov. archeológia III, 1955

Bárta, J. Jaskyne Netopierska a Kaplnka v Nízkych Tatrách a ich rímske osídlenie s antropologickými nálezmi, Slov. archeológia III, 1955

Bárta, J.4 Neolitické osídlenie jaskyň pri Poráči na Slovensku, Arch. rozhledy VIII 1956

Bárta, J. Neolitické a eneolitické osídlenie Puklinovej jaskyne na Dreveníku pri Žehre, Arch. rozhledy X, 1958

Bárta, J. Pravekě osídlenie jaskyne Čertova dźůra v Slov. raji, Arch. rozhledy X, 1958

Bárta, J. Jaskyňa Mažarná v krasovom území Velkej Fatry, Slov. archeológia VI - 2, 1958

Bárta, J. Majda - Hraškova jaskyňa a jej kultová funkcia v dobe halštatskej, Slov. archeológia VI - 2, 1958

Bárta, J. Paläolithische Höhlenbesiedlung im Karpatischen Teil der Tschechoslowakei, Arch. vestnik XIII-XIV, 1962

Bárta, J. Slovensko v staršej a strednej dobe kamannej, 1965

Lichardus, J. Jaskyňa Domica, 1968

Diskussion:

K. EHRENBERG (Wien): Redner weist auf die regionalen Unterschiede in der Häufigkeit der Höhlenbesiedlung hin, die sich aus den Ausführungen des Vortragenden ergeben, die eine genauere Analyse verdienen würden. Auch die Besiedlungsstellen (eingangsnah oder eingangsfern) wären einer solchen zu unterziehen.

La maison des premiers hommes

(La prospection d'abris préhistoriques)

JEAN-PIERRE WIDMER (Lausanne / Suisse)

Spéléologues mes amis, lorsque vous prospectez une région en quête de grottes ou de gouffres, il vous arrive parfois de trouver de petites grottes ou des abris sous roche. Bien que ceux-ci soient souvent d'un aspect insignifiant, ils peuvent néanmoins être d'une importance capitale, du point de vue de l'archéologie préhistorique. C'est pourquoi j'attire votre attention. Généralement, l'accès à la station préhistorique est facile, parfois dans des lieux escarpés. L'entrée est bien visible ou masquée par des rideaux de branchages ou des blocs de rochers tombés de la partie avancée de la voûte. Il y a trois sortes de stations préhistoriques :

1. L'auvent :

Petit abri sous roche plutôt large que profond avec un surplomb rocheux de quelques mètres seulement. La lumière du jour y pénètre facilement.

Ex: La Vallon des Vaux près de Chavannes le Chêne, VD, alt. 550 m.

2. L'abri sous roche :

Cavité en forme de coupole, vaste, spacieuse avec un grand porche où pénètre encore la lumière du jour.
Ex: La Baume du Four dans les Gorges de l'Areuse, NE, alt. 540 m.

3. La grotte :

Cavité plus ou moins horizontale avec une ou plusieurs galeries qui peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres La lumière du jour ne pénètre que parcimonieusement près de l'entrée.
Ex: La grotte de Cotencher dans les Gorges de l'Areuse, NE, alt. 600 m.
La station en plein air n'entre pas en considération ici.

Formation :

L'auvent ou l'abri sous roche est une cavité peu profonde creusée sous la paroi surplombante d'une roche qui peut être du grès, du basalte, du granit, etc. S'il s'agit de calcaire, ce qui est généralement le cas, l'abri est formé soit par l'érosion latérale d'un cours d'eau, soit par l'action d'une corrosion différentielle par des infiltrations et des suintements, soit par une desquamation sous l'influence du gel, du dégel et des variations thermiques, ou encore par la corrosion due au vent chargé de sable.

La grotte par contre est creusée par l'érosion et la corrosion des eaux d'infiltration qui circulent dans les interstices que lui offre la roche. ($CaCO^3 + CO^2 + H^2O \longrightarrow Ca(HCO^3)^2$. C'est-à-dire : carbonate de calcium insoluble + anhydride carbonique dissous + eau ⟶ bicarbonate de calcium soluble. Il est probable que les cavernes de nos régions datent de l'avant-dernière glaciation du Riss; l'âge de celle-ci se situe environ entre 190 et 240 millénaires. D'autre part, il existe des cavités beaucoup plus anciennes d'âge tertiaire, mais elles sont pour la plupart obstruées par des dépôts sidérolithiques.

C'est dans ces abris que nos lointains ancêtres se sont réfugiés depuis l'aurore des temps préhistoriques jusqu'à nos jours. En effet, il y a des milliers d'années, dès le 1er interglaciaire Günz-Mindel 550 - 480, les tous premiers hommes étaient essentiellement des nomades, dépourvus d'habitation stable à part de simples coupe-vent fait de branchages feuillus, garnis d'écorce ou de peaux de bêtes soutenues par des perches en bois. Leurs outillages en silex taillé se trouvent uniquement dans les alluvions fluviatiles et dans les loess. Ce n'est qu'au cours des dernières périodes glaciaires du Riss-Wurm que l'homme est contraint de chercher un refuge contre les intempéries, la pluie, la neige, le froid devenu de plus en plus vif. Alors, il s'abrite dans les cavernes. L'occupation permanente de celles-ci ne date que depuis le 3ème interglaciaire du Riss jusqu'au 4ème glaciaire du Würm 190 - 120. Ce qui correspond à la période s'étendant depuis le Moustérien jusqu'au Magdlénien. A la fin de l'époque glaciaire, un réchauffement général se produisit. Les glaciers reculèrent et firent très rapidement place à de vastes forêts. Les seuls endroits où l'homme pouvait s'installer furent les lieux où la végétation était moins dense, rives des lacs, des marais, et comme auparavant les grottes et abris. Bien entendu la prospection de ces stations préhistoriques ne se fait pas sans une étude préalable de la région, d'après une carte géologique, en tenant compte des cuvettes lacustres, des terrasses les plus élevées de rivières, des flancs des vallées, des falaises, des gorges et des bancs de rochers isolés où il est probable de trouver des traces d'habitations. Vous tiendrez aussi compte de son hydrologie (Ex: grotte inondable au printemps) et de son climat (Ex: grotte froide en altidude), ainsi que de sa phytogéographie (description des plantes). Vous pouvez vous référez à des documents archéologiques récents ou anciens, des photos de revues ou des bibliogra-

phies, etc. Sur le terrain, vous tiendrez compte des faits suivants :

Périodes froides (glaciaires)

En Suisse, d'immenses territoires sont impraticables à cause de l'étendue des glaciers. Les précipitations hivernales sont plus abondantes, tandis que les étés sont plus froids. La température moyenne semble avoir oscillé autour de 8°C. Par contre, certaines régions alpines au-dessus des glaciers sont praticables en partie. Mais les conditions de vie, nourriture, feu, etc. nécessitent une adaptation de la part de l'homme.
Ex: Grotte du Drachenloch, 2'445 m., St Gall et Ranggiloch, 1'845 m. Berne.

Périodes chaudes (interglaciaires et interstadiaires) :

Les interglaciaires sont des périodes de réchauffement durant lesquelles les glaciers fondent et reculent à nouveau vers les Alpes. Les alternances de progression et de régression glaciaires, auxquelles s'ajoute la puissante érosion des eaux de fonte, modifièrent à la longue complètement le paysage de la fin de l'ère tertiaire.

La majeure partie de la Suisse est habitable, aussi bien le Plateau que le Jura, les Préalpes et les Alpes. Le gibier se trouve sur presque tout le territoire. Les conditions de vie sont bien meilleures.

Altitude :

Les grottes habituées se trouvent réparties à toutes les hauteurs, mais leur répartition est très inégale. L'habitat a pu être permanent ou temporaire suivant la saison et surtout durant les périodes chaudes.
Ex: Grotte du Scé, 410 m., près de Villeneuve et celle du Drachenloch, 2'445m., près de Vättis. Cependant, la mejeure partie des stations se trouvent entre 340 et 1'900 m. d'altitude.

Orientation :

Les entrées des abris se situent généralement au sud-sud-est, et dans un endroit bien ensoleillé, à l'abri des vents humides de l'ouest et froids du nordou nord-est, et exempts de trop d'humidité.

Points d'eau :

Des sources, des cascades, des rivières, des lacs et des étangs se trouvent généralement à proximité d'une station préhistorique.

Gisement :

Matière première si possible aux alentours de l'abri pour la fabrication d'industrie du silex, etc.

Chasse et cueillette:

La grotte se situe au voisinage d'un terrain de chasse ou près d'un passage du gibier. Celle-ci nécessite une adaptation saisonnière ce qui contraint l'homme à changer fréquemment de lieu d'habitat.

Chauffage et éclairage :

Dans ces cavernes-abri, la lumière du jour pénètre parcimonieusement près de l'entrée. Le feu était entretenu en permanence près de l'orifice. C'est d'ailleurs par là que venait l'air et que s'échappait la fumée du foyer. L'air froid venait se réchauffer au contact des roches, asséchées par l'air chaud issu du feu. Ainsi la caverne n'était pas trop humide et permettait une habitation stable et permanente.
L'homme se servait aussi de torches (genévrier) pour oser s'aventurer dans les galeries profondes, ainsi que de lampes grossières fabriquées dans des godets de pierre, imprégnés de mousses, de résine ou de graisse animale

Défense :

Possibilité de défenses avec des blocs de rochers, des pieux, des buissons épineux. Le feu servait aussi à combattre les innombrables bêtes fauves, ours des cavernes, hyènes, etc. qui rôdaient près de l'entrée et parfois à l'intérieur de la cavité.

Vestiges :

On peut trouver des vestiges près de l'entrée, dans des galeries éloignées de celle-ci, dans des étroitures, des infractuosités de rochers, sur des corniches, au fond des gouffres, etc.

Auvent et abri sous roche :

Dans ces cavités à l'air libre, l'action du gel, du dégel, de la pluie, des sécrétions végétales produits de la décomposition des végétaux, détruit assez rapidement les surfaces calcaires. Cependant, certains abris sous roche bien orientés, dans un climat sec peuvent conserver des traces de gravures, peintures, pendant des dizaines de millénaires. Par contre, les traces d'argile tombent rapidement en poussière.

Les cavités montantes :

Les cavités montantes sont en général chaudes. En été, il se produit une condensation très intense. L'eau qui se dépose chargée de gaz carbonique attaque assez rapidement les parois calcaires. Donc, il est fort improbable de trouver sur ces parois très usées depuis le Paléolithique des traces de l'homme préhistorique.

Les cavités horizontales :
Avec son courant à double sens, elles captent en été l'air chaud qui se réfugie dans la partie supérieure de la grotte, tandis qu'en hiver, c'est la partie inférieure. Dans ces cavités horizontales, la partie basse s'écaille par l'action du gel jusqu'à une certaine profondeur. Plus loin, la galerie présente un aspect corrodé et spongieux. En été, les voûtes sont parsemées de goutelettes de condensation et les concrétions sont humides.

Les cavités descendantes:
Ce sont les cavités descendantes avec une entrée étroite qui sont généralement très froides. Dans ces cavités, il n'existe pour ainsi dire pas de condensation de vapeur due à l'échange avec l'air extérieur.
Ce sont les échanges d'air avec l'extérieur qui modifient constamment le climat de la grotte, ainsi que la corrosion et la condensation des parois. La modification sera d'autant plus profonde que l'entrée et les dimensions des galeries sont plus grandes. Les échanges d'air avec l'extérieur sont soumis aux changements de temps, qui modifient la pression atmosphérique. Les volumes d'air entrant ou sortant, sont en fonction du volume total de la caverne, toutefois des changements peuvent se produire s'il y a d'autres orifices supérieurs ou inférieurs dans la même grotte. En général, ce sont les cavités descendantes avec une petite entrée, donc à faible circulation d'air, qui présentent les meilleures conditions de conservations des oeuvres d'art, que ce soit de la peinture, gravures ou sculptures, etc. Celles-ci se trouvent dans des galeries profondes où la température et le degré hygrométrique sont à peu près constants.

Grotte habitat:
Près de l'entrée, présence de larmiers (?), traces de foyers, de cendres, d'industrie du silex ou des poteries néolothiques, art mobilier.

Grotte sanctuaire :
Galerie fossile profonde, art pariétal : peinture, gravure, sculpture, etc. La Suisse n'a livré jusqu'ici aucune oeuvre d'art rupestre. La grotte sanctuaire n'est généralement pas habitée.

Paléontologie :
On peut trouver des traces d'animaux, hyènes des cavernes, ursus spelaeus que l'on rencontre dès l'Acheuléen jusqu'à la fin de l'Aurignacien. Des traces d'empreintes, de pattes, de griffes sont visibles même dans des galeries profondes, ainsi que de nids d'ours qui peuvent atteindre de 2m. à 2,50 m, de diamètre et 0,50m. de profondeur. La présence de traces d'ours est un indice certain que les conditions climatiques souterraines sont favorables à la conservation d'autres vestiges sur l'argile.

Anthropologie :
Les squelettes humains sont beaucoup plus rares. Les plus anciens remontent au Moustérien. Au Magdalénien, le squelette est orienté d'ordinaire est-ouest, très replié sur lui-même, les genoux à hauteur du thorax, les pieds sous les os du bassin, les coudes sur les genoux, les mains soutenant la tête. Le Paléolithique saupoudrait les morts d'une substance rougeâtre, l'ocre, (oxyde de fer), parfois il déposait des armes à proximité et des coquillages dessus . - Sur le sol, il arrive que l'on trouve des traces d'empreintes de genoux, talons et pieds, pour autant que celui-ci soit argileux.

Les ossements peuvent se fossiliser lorsqu'ils sont baignés par des eaux calcaires ou se conserver dans une couche d'argile qui les isolait de l'oxygène de l'air et de l'acide carbonique.

Je suis persuadé qu'en tenant compte des critères ci-dessus, vous obtiendrez de bons résultats, à condition d'être attentifs, perspicaces et patients. En cas de découverte, vous devez avertir l'archéologue cantonal. Toutes les fouilles faites par des amateurs ne sont que du vandalisme. Ainsi la prospection enrichira notre patrimoine archéologique par les révélations qu'elle obtiendra grâce à la collaboration des spéléologues et des archéologues, ce qui a permis de concilier bien des domaines de la science.

Révision des successions chronologiques observées à la Grotte de Spy (Belgique)

MICHEL C. DEWEZ (Verviers/Belgique)

Le Gisement de Spy

La grotte de la Betche-al-Rotche se trouve dans la vallée de l'Orneau (Bassin de la Meuse) sur le territoire de la commune de Spy, Province de Namur. Le gissement a acquis une célébrité mondiale depuis la découverte des restes anthropologiques néanderthaliens en 1886.

Les divers niveaux archéologiques de la grotte et de sa terrasse étaient très riches en vestiges préhistoriques, industries lithiques et osseuses, faune et même quelques restes humains. C'est pourquoi de nombreux préhistoriens, tant amateurs que professionnels, y entreprirent des recherches; ces fouilles furent menées avec plus ou moins de méthode selon les fouilleurs et les époques.... Parmi les travaux les plus importants, nous pouvons citer ceux dus à :
A. Rucquoy - 1879- (1) qui fut le premier à sonder le sol de la grotte. Ses recherches se déroulèrent malheureusement sans le souci d'une méthode scientifique.

M. de Puydt et M. Lohest -1886 et 1887- (2)(3). Ils furent plus soucieux d'observation sur le terrain et de méthode et eurent la chance de découvrir les célèbres "hommes de Spy".

A. de Loë et E. Rahir -1906-1909- (4). Ils entreprirent de nouvelles recherches particulièrement sur la terrasse de la grotte.

J. Hamal-Nandrin, J. Servais et leurs collaborateurs - 1927 -(5)
Dr.F.Twiesselmann et une équipe de l'Institut Royal des Sciences Naturelles -1952-1956. Ces travaux sont encore inédits.

Interprétation des séquences chronologiques

1) A. Rucquoy : Aucune de ses opinions concernant la stratigraphie ne peut être prise en considération. Elles semblent en effet, avoir été inventées longtemps après la fouille !

2) M. de Puydt et M. Lohest : Distinguent trois niveaux archéologiques superposés. Niveau 1 : Industrie laminaire, dont certains silex "à tranchant abattu" sont comparés à des documents de Chaleux et d'Engis, à quoi viennent s'ajouter des "pointes dites moustériennes" mais plus étroites et se rapprochant plus des "bouts de lance que des pointes du 2ième niveau", ainsi que de l'industrie osseuse. Niveau 2 : Industrie lithique laminaire et silex de type moustérien, ainsi qu'une abondante industrie osseuse. Niveau 3 : Industrie de l'homme de Néanderthal.

3) de Loe et Rahir : Ces auteurs reconnaissent aussi trois niveaux, Niveau 1: "Pointes de la Font-Robert","Lames de la Gravette" etc....Niveau 2: Lames, "grattoirs carénés", quelques racloirs simples ou doubles dits pointes moustériennes". Niveau 3: Industrie sur éclats, pointes moustériennes .....
Ils concluent selon les avis de Rutot, qu'il y a là les trois niveaux "aurignaciens" - Niveau d'Hastière, niveau de Montaigle, niveau du Trou Magrite.

4) J. Hamal-Nandrin : Estime avoir fouillé une couche inférieure, plus ancienne que le 3ème niveau de De Puydt et Lohest, et l'attribue à un "Vieux Moustérien" "qui correspond au Riss-Wurm".

5) H. Breuil : (6) Le célèbre préhistorien français s'est aussi intéressé au gisement. Après une étude des documents, il proposa la succession chronologique suivante, de bas en haut :
1) Niveau vieux moustérien (à bifaces)
2) Niveau Moustérien supérieur (sépulture humaine)
3) Aurignacien typique (fin de la phase moyenne)
4) Aurignacien final- avec toute la transition vers le solutréen et peut-être un peu de celui-ci.

6) H. Angelroth (7) a signalé que la couche la plus récente du Paléolithique supérieur (Aurignacien final de Breuil) méritait l'appellation plus précise de "Périgordient supérieur"-

Méthodologie d'une nouvelle révision

Aucune des fouilles ne pouvant fournir une stratigraphie utilisable, et aucun pilier témoin n'ayant été conservé dans la grotte, force est d'employer la méthode typologique pour essayer de préciser le problème de la succession des groupes culturels à Spy. Nous n'ignorons pas le danger que présente une interprétation basée sur une

diagnose typologique, alors qu'aucun ensemble d'outillage ne peut-être attribué avec une certitude absolue à une couche stratigraphique donnée.
Néanmoins nous croyons utile de présenter les problèmes que pose une étude typologique de la documentation conservée, confrontée avec les successions chronologiques admises jusqu'à présent.

Documents typologiques susceptibles de préciser le problème des successions chronologiques

Paléolithique Moyen : L'interprétation la plus récente a été émise par Fr. Bordes (8). Il s'agirait d'un "Moustérien de type Quina" et d'un "Moustérien de tradition Acheuléenne, Type A". Cette hypothèse intéressante devra être revue prochainement lors de la publication du travail de doctorat de Madame M. Ulrix-Closset, qui a étudié l'ensemble du Paléolithique Moyen de Spy, étude qui n'avait jamais été réalisée (9).

Paléolithique Supérieur : Solutréen : L'hypothèse d'une occupation solutréenne ou Proto-solutréenne a été émise par H. Breuil dès 1922 (6) et (10), elle fut reprise par L. Eloy (11) et examinée à nouveau par P.E.Smith en 1966 (12). Tous ces auteurs se sont basés uniquement sur la documentation lithique. En considérant le faciès du Périgordien à Font-Robert, dont certains documents portent une retouche solutréide (pièces à retouche plus ou moins plate et envahissante). Breuil y voit des "indications protosolutréennes indubitables", Eloy du Proto-solutréen, et Smith un indice probable selon lequel les "périgordiens supérieurs étaient entièrement capables de produire ce type de retouche " (solutréenne). Depuis la découverte du gisement paléolithique supérieur de plein air de Maizière (Belgique) (13), une nouvelle vérification de ces opinions peut être tentée. Il est en effet concevable d'imaginer un faciès particulier du Périgordien V à Font-Robert, qui se serait attardé et développé en Belgique , ajoutant à son outillage traditionnel des éléments nettement solutréides. (Documents laminaires à retouche solutréenne partielle). Ce faciès semble s'être prolongé au moins jusqu'à la fin du Wurm III et peut-être même dans l'interstade Wurm III-IV. Spy devait probablement posséder un stade de ce faciès (fin du Wurm III ?). L'aiguille à chas est déjà connue dans ce Périgordo-Solutréen de Maizière. Il est cependant très difficile d'attribuer à cette séquence les quelques documents prouvant l'existence de l'aiguille à chas à Spy. Ceux-ci pouvant en effet appartenir à la séquence suivante.

Magdalénien β Quelques documents plaident en faveur d'une occupation du Paléolithique Supérieur final, en particulier du groupe Magdalénien. L'outillage lithique n'apporte peut-être pas d'éléments concluants : Des lamelles minces à bord abattu rectiligne sont aussi abondantes, mais pourraient être périgordiennes.
Des burins du genre "Bec-de-perroquet" dont la morphologie paraît plus ou moins proche de la forme typique selon les exemplaires peuvent poser des problèmes intéressants. Les exemplaires que nous figurons dans cette étude proviennent d'une série conservées à l'Université de Liège. Cette série paraît bien homogène (bien que nous n'ayons aucun appui stratigraphique) et paraît Aurignacienne.

Ne peut-on imaginer, en considérant un "grand nombre" du coups-de-burin rentrant sur troncature, que l'on puisse rencontrer occasionellement des coups-de-burin rentrant sur troncature plus ou moins convexe? D'autant plus que de tels burins semblent se rencontrer également en Allemagne, à Zeitzberg par exemple (14), dans une industrie aurignacienne; à moins qu'il ne faille distinguer aussi un faciès Magdalénien à Zeitzberg, ce qui en fait nous paraît bien possible. Dans la limite des informations dont nous disposons actuellement nous ne pouvons attribuer ces burins à une séquence plutôt qu'à une autre, faute d'argumentation scientifique suffisemment solide.

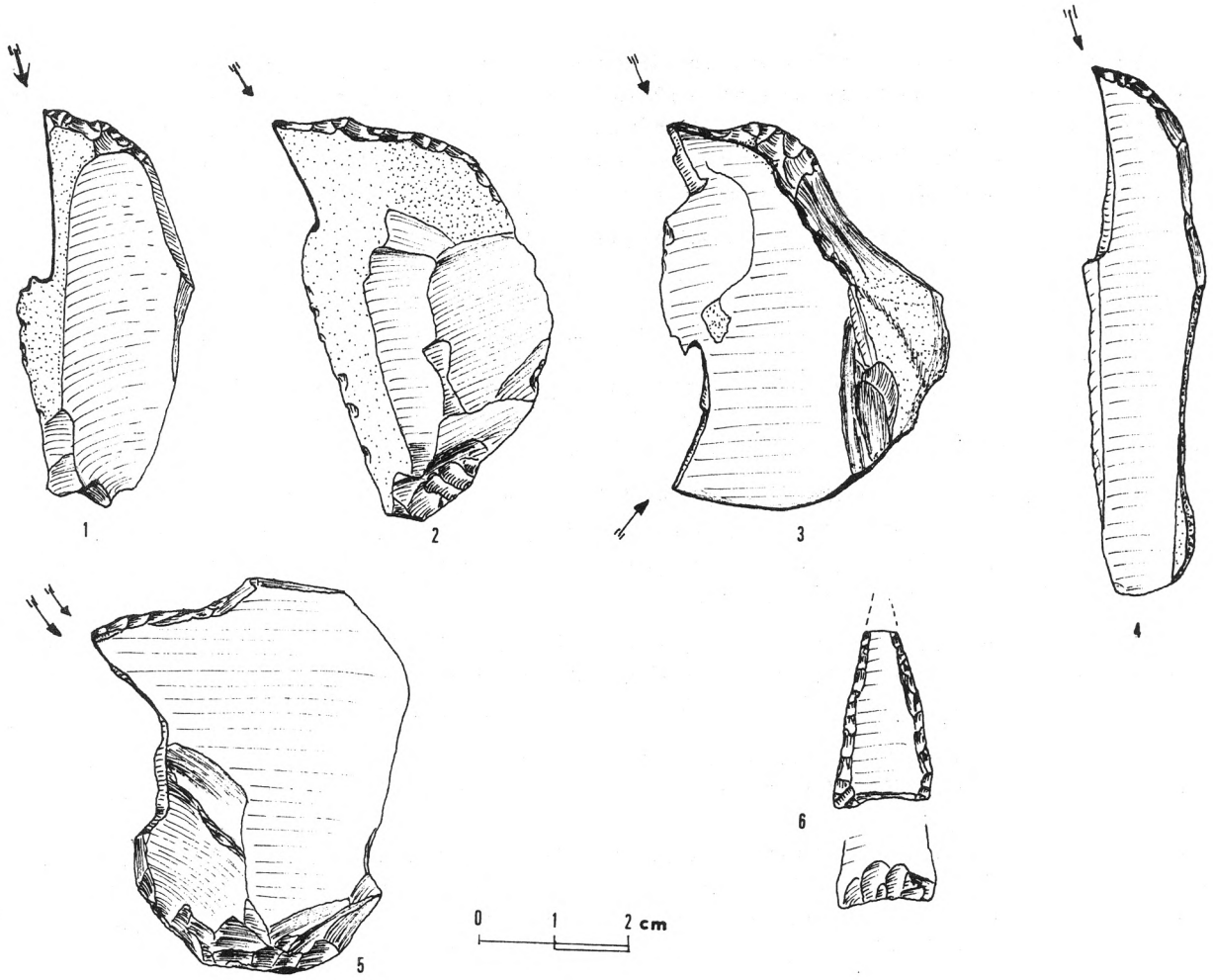
L'industrie osseuse apporte heureusement des témoignages plus convainquant, citons :
A- des aiguilles à chas
Nous figurons (fig.10) un fragment proximal d'une aiguille à chas (conservée à l'I.R.Sc.N.B. de Bruxelles). Le travail de polissage de l'os est bien achevé, l'extrémité proximale présente un amincissement assez brusque destiné à faciliter le travail de perforation. La pointe, brisée, manque. Dimensions : longueur: 16,6 mm, Largeur: 4mm, épaisseur : 3 mm, épaisseur à la hauteur du chas: 1,6 mm, diamètre du trou: 1,5 mm.

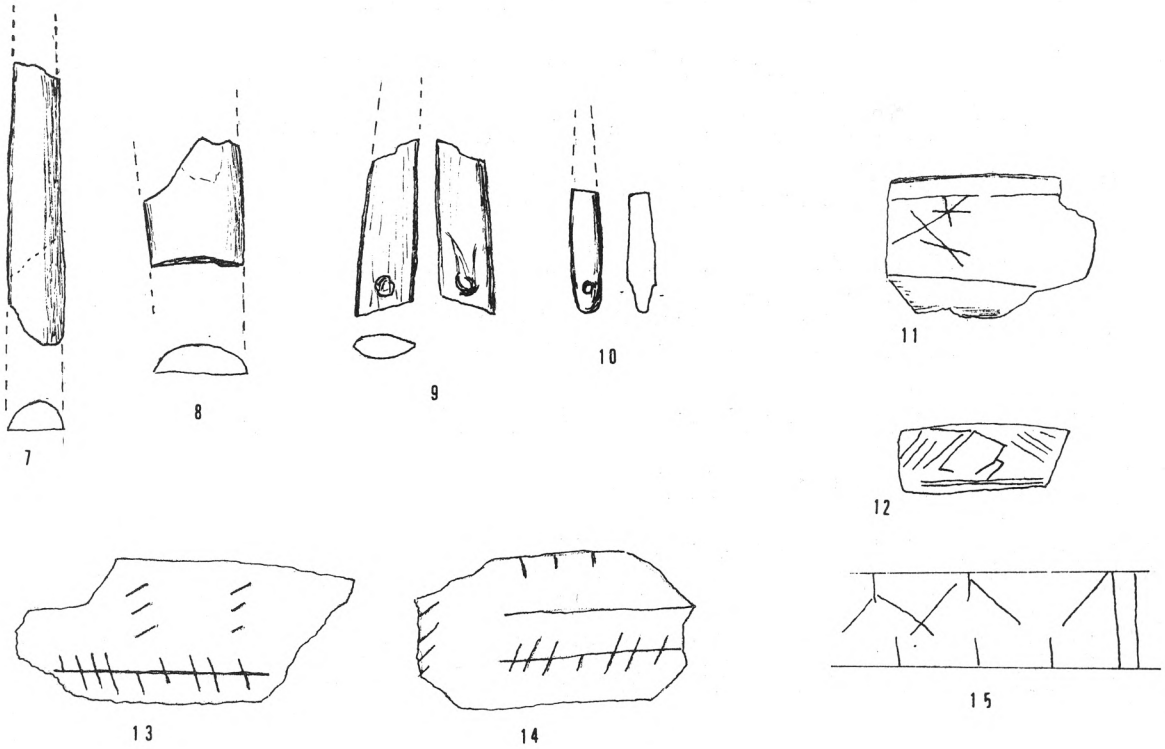
Un fragment proximal de grande aiguille en os, (fig.9). La pointe inachevé, les deux faces présentent des traces de stries longitudinales. Le chas n'est pas perforé , mais le travail a été entamé sur les deux faces, selon la technique de perforation biconique.

Il est possible que ce document inachevé a été fracturé en cours de fabrication. Dimensions: Longueur:22mm, Largeur: 7,5 mm, épaisseur: 3 mm.

B- Des fragments de baguettes demi-rondes. Nous en figurons 2 exemplaires conservés dans les collections de l'Université de Liège. Il s'agit de fragments médians, l'un est en ivoire (fig.8), l'autre en os (fig.7). Ces documents ont une face convexe et l'autre plate, assez bien polies, des stries de raclage sont cependant encore visibles sur les deux fragments. Dimensions: Longueur: 37,5mm et 17,5mm. Largeur:médiane: 7 et 13 mm, épaisseur médiane: 3,5 et 5 mm.

Deux fragments de baguettes demi-rondes en ivoire, sont également conservées dans la collection F.Beaufayt


1
2
3
4
5
6
0 1 2 cm


7
8
9
10
11
12
13
14
15

(Jemeppes-sur-Sambre). Leurs dimensions sont de : Longueur:25,5 et 36 mm, Largeur médiane: 7,2 et 10 mm. Constatons que ces documents de Spy sont de proportions plus petites que les baguettes demi-rondes du Magdalénien de France, contrairement à la majorité de celles-ci, elles ne portent ni décoration, ni stries intentionnelles. Elles n'en témoignent pas moins de la connaissance d'une technique bien caractéristique qui ne semble être connue de France que du Magdalénien III au Magdalénien V-VI.

C- Des fragments osseux décorés de motifs géométriques. Certains d'entre eux sont comparables à des décors incisés sur os que l'on retrouve dans le Magdalénien supérieur du Sud-Ouest de la France. Nous figurons ici cinq motifs décoratifs incisés sur des petits fragments osseux de Spy. Le plus grand de ces fragments n'atteint pas 65 mm. de longueur. Les figures 12 et 15 nous paraissent les plus proches des décors magdaléniens de France.

(La figure 15 est un modèle reconstitué d'après un fragment osseux fortement abimé). Les figures 11,13,et 14 représentent des motifs assez fréquents à Spy, dont on connaît des variantes formées par la combinaison des croix de St André et des traits horizontaux ou obliques, recoupés ou non par des incisions plus courtes.

Post-Paléolithique: Le néolothique est représenté également à Spy; on y connaît notamment des fragments de haches polies, des armatures de flèches variées, parmi lesquelles les pointes à pédoncule et ailerons semblent dominer. Nous figurons ici (Fig.6) une pointe d'un type assez particulier qui n'est pas sans rappeler les armatures géométriques d'origine mésolithique.

Les âges des métaux sont connus par des fragments de céramique, la plupart à fond plat et sans décor, quelques fragments d'objets de bronze et de fer. Rappelons qu'un fragment osseux décoré d'une swastika, découvert en 1902 par R. Chalon, avait déjà été publié comme appartenant à l'âge du Bronze. (15)

Peut-être pourrait-on terminer cette petite note, en ajoutant que les silex les plus récents découverts à Spy peuvent dater du XIXème siècle, des chasseurs y ayant abandonné des pierres-à-fusils, usagées....

Remerciements:
Nous avons l'agréable devoir de remercier notre professeur à l'Université de Liège, Mademoiselle H. Danthine, ainsi que Madame Ulrix-Closset, pour les conseils qu'elles nous ont prodigués lors de cette étude. Notre vive gratitude va également au Dr. Twiesselmann, qui avec une grande libéralité nous permet toujours d'étudier les riches collections de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique.

Bibliographie

1- A. RUCQUOY, Notes sur les fouilles faites en août 1879, dans la caverne de la Bêche-aux-Roches, près de Spy Bull. Soc. Anthr.Bruxelles, t.5,1886-1887,pp.318-328.
2- M.de PUYDT et M. LOHEST, Exploration de la grotte de Spy, Ann.Soc.Géol.Belg.,t.13,Mémoires,1886,p.34-39
3- M.de PUYDT et M.LOHEST, L'homme contemporain du mammouth à Spy,Province de Namur (Belgique), Namur, 1887, 36,pp.10 pl.
4- A.de LOE et E.RAHIR, Nouvelles fouilles à Spy, grotte de la Betche-al -Rotche. Bulletin.Soc.Anthr.Bruxelles t,30, 1911,pp.XL-XLVIII.
5- J.HAMAL-NANDRIN, J. SERVAIS, C. FRAIPONT, S.LECLERCQ, M.LOUIS, La grotte de Spy. In Mélanges. H.Begouen Toulouse, 1939, pp. 143-148
6- H.BREUIL, Remarques sur les divers niveaux archéologiques du gisement de Spy. Rev.Anthr.,t.22,1912,pp.126-129.
7- H.ANGELROTH, Le Périgordien et l'Aurignacien? Essai d'introduction d'industries de stations belges dans les stades périgordien et aurignacien. Bull. Soc.roy.belge Anthr.Préhist.,t.64,153,pp.163-183.
8- F.BORDES, Le Paléolithique dans le monde, Paris, 1968,p.106.
9- Travail de doctorat en cours à l'Université de Liège, concernant le Paléolithique moyen dans le bassin de la Meuse.
10- H.BREUIL, Les subdivisions du Paléolithique supérieur et leur signification, Paris, 2e éd., 1937, 78 pp, 47 fig.
11- L.ELOY, Le Proto-Solutréen dans le bassin de la Meuse en Belgique. Bull. Soc.Préhist. franç., t. 53, 1956, pp. 532-539.
12- P.E. SMITH, Le Solutréen en France, Bordeaux, 1966, p. 286 et p. 355
13- F.H.(Hubert), Maisières (Hainaut) Wartons : Gisement périgordien supérieur en plaine, Archéologie, I,1968 pp. 7-9.
14- R.FEUSTEL, Das Aurignacien vom Zeitzberg bei Gera, Alt-Thuringen, VII, 1965,pp.15-39.(Cfr.Pl.9, fig.1).
15- J.CHALON et M. de PUYDT, Au sujet du swastika de Spy, Bull. soc. Anthr. Bruxelles, t,XXXIII,1914,p.223-228.

Caves occupied during the prehistoric Iron Age in the Mendip Hills, Somerset, England

E. K. TRATMAN (Bristol, Great Britain)

Summary:

In the Mendip Hills, Somerset, England, a number of caves were used as dwellings during the prehistoric Iron Age prior to the Roman conquest of South Britain in A.D. 43. In some cases the occupation continued on into the 4th century A.D. Three sites only require detailed consideration.

At Wookey Hole the entrance passage of the present day show cave used as a dwelling from about the 2nd century B.C. till after 300 A.D. Many objects were found that illustrated the everyday life of the people. There was evidence that cannabalism was occasionally practised.

Rowberrow Cavern was the major iron smelting centre for the area but was otherwise not used. The iron ores had been smelted in a long trench furnace.

Read's Cavern when it was occupied was really a deep rockshelter rather than a cave. It was used between 150 B.C. and 50 B.C. The cave was abandoned in a hurry when a major collapse of the walls, the roof and the cliff over the entrance took place. Some of the people were killed while trying to escape. The cave remained sealed till it was discovered in 1919. Objects left behind by the people were found still lying where they had been dropped.

The location of the Mendip Hills is given in fig. 1. They are in the main composed of Carboniferous Limestone arranged in a series of periclines with the core of Old Red Sandstone forming the main summits at about 300 metres. They are flanked by Dolomitic Conglomerate of triassic age. There are many caves in the hills and a number are so situated as to be suitable for occupation by man. Within this group are several that were lived in during the prehistoric Iron Age and continued to be used after the Roman conquest of South Britain in A.D. 43. There are, however, only three caves that call for special consideration because of their use for considerable time prior to the Roman conquest.

Firstly the Great Cave of Wookey Hole, now a well-known show cave (Fig. 1). The parts shown to the public are all in the Dolomitic Conglomerate which here infills a short steep N-S valley in the limestone. The entrance to the show cave is an old high level resurgence of the river Axe, which now emerges some 12 metres lower down to the east. The chief area of occupation was in the vestibule where Balch (1914) excavated about 1 metre of deposits.

The range of pottery types indicate an occupation beginning around the 3rd centrury B.C. in Iron Age "A" times of Britain (Hallstatt of Europe). The site continued in use till long after the Roman conquest, possibly as late as 300 A.D. or even later.

Iron objects were not very plentiful and all were badly corroded. They include a variety of tools including bill-hooks, (the form of which has not changed much), sickles, a saw, spokeshave or draw knife, knives, a lance head or so, pins, needles and brooches. Objects made of bronze included brooches while those of bone included, that speciality of Britain, combs used in weaving. In all, a considerable collection of complete and broken objects used and lost over the centuries of occupation.

The food supply consisted of grain, chiefly wheat, domestic animals (sheep or goat, ox and pig). Wild animals were poorly represented with red deer (C. elaphus) the commonest. In places human bones were found but not complete skeletons. Some of the bones were found in the actual hearths and some were partially burnt so that the possibility of occasional cannabalistic practices must be admitted.

Though the occupation was in the main confined to the vestibule, pottery finds show that the first chamber, where the river Axe is seen, was at least visited and one of the pools under drips from the roof seemed to have been used as a well. Overlooking the river is a massive stalagmite boss which has some resemblance to a human head and neck and which is generally known as "The Witch". Thus backing up the traditional story of the cave having been inhabited by a witch, who was such a nuisance that the local people called in a monk from Glastonbury Abbey to exorcise her. He sprinkled her with Holy Water and she was turned into stone.

Beneath and to one side of the Witch the excavators found sockets with the remains of wooden posts in them. It could be that the posts had been used as tethering posts for man or beast and thus, perhaps, for victims to be sacrificed to the witch.

The people went beyond the first chamber as far as the fourth; this is not now accessible to the public because a dam at the cave mouth has raised the water level inside the cave so much that the arch to this chamber is submerged. Inside this 4th chamber towards the end of the period of occupation the sand banks were used as a graveyard.

The second site is Rowberrow Cavern. It has a single open chamber, quite small, and has been formed in the Dolomitic Conglomerate. It has been excavated by the University of Bristol Spelaeological Society.

In the prehistoric Iron Age the evidence from various sites in the Mendips is that the smelting of iron ores was done in small bowl furnaces capable of producing ovoid blooms or iron about 25 cm across. The importance of Rowberrow Cavern is in its use as a principle smelting site in the area for iron ores. The cave was not otherwise used as a living site during the prehistoric Iron Age.

At this cave the ordinary bowl furnace was not used. Instead a trench type smelter was used. Only the floor and walls of this survived. The lining had been of slabs of Old Red Sandstone brought to the site. There is a plentiful supply of such slabs about 1 km to the east. The heat had been sufficiently intense partly to fuse a number of the slabs. There was a thick layer of charcoal, ash and slag. The cave also produced by far the biggest "bloom" yet found in southern Britain. It measured about 45 x 30 x 25 cm.

Site three is Read's Cavern about 1.5 km east of Rowberrow and 3 km east of one of the great Iron Age fortresses of Dolebury. This cave was discovered by U.B.S.S. in Sept. 1919. It lies at and under the foot of a limestone cliff, close to which a small stream goes underground. The entrance made to the cave led down an extremely steep slope covered with loose scree and larger boulders. At a depth of over 10 metres a large chamber was entered running parallel cliff face. To the intense surprise of the original explorers objects were found lying on the surface of the cave floor and these objects showed that the cave had been lived in during the prehistoric Iron Age.

Excavation of the floor was undertaken, but always there was the problem as to why such a deep cave and one so wet and totally dark had been a living site. The existence of an easier entrance had to be postulated. After several years of work it was possible to be sure that there had been only one occupation of the cave extending over a number of years and within the date brackets of 150 - 50 B.C. and probably centred round 100 B.C. The site had been used for quite a long time as the cave floor had been levelled up in places more than once. In one area a hole leading down through boulders to the streamway had been covered over by hurdles on top of which clay had been rammed down to give a smooth solid surface. On top of this had stood, amongst other things, a wooden tankard with bronze binding hoops, an iron sickle and several pots. After the cave was abandoned the hurdles rotted and the floor gave way and the objects on it fell down amongst the boulders, some of the pottery got broken and pieces lodged on a ledge above the boulders.

Amongst the other objects found were bronze brooches and spiral finger or toe rings, the iron rim for a wooden spade, an iron plough share and a fine pair of shackles or hobbles probably for use with horses. One of the most interesting objects was a pair of long slender bird bones sliding one within the other forming a type of instrument very similar to that used by vetinary surgeons at the present day for administering pills to horses.

It was also possible to demonstrate that since the cave was abandoned much flowstone had formed over very considerable areas of the floor and this had, in favourable spots, reached a thickness of as much as 10 cm. The black "hearth" of the occupation lay directly under the flowstone (stalagmite) and there was no flowstone below the hearth or any evidence of any earlier occupation by man or animals. The entrance used in prehistoric times was located from inside the cave and subsequently verified by excavation outside. Here the entrance floor level was covered by 4-5 m of rock fall material from the cliff face above. This evidence of rock fall was complementary to that found inside the cave. The prehistoric entrance had had a door of wood and provided an easy route down into the cave at the west end.

The conclusions were:

1. The cave had been a normal habitation by the Iron Age people of the district between 150 - 50 B.C.

B. C.
Bristol
M. H.
Weston
Super – Mare
Bristol Airport
To Bristol
N
400
400
C
Dolebury
1
2
Burrington
M E N D I P
H I L L S
800
800
400
Cheddar
BRISTOL CHANNEL
Burnham
On – Sea
Wookey
Hole
Wells
Rowberrow Cavern 1
Read's Cavern 2
Heights in Feet
0 1 2 3 4 5
Kilometres

H 5/3

2. The cave, while occupied, had been a deep rock shelter rather than a cave. The entrance provided an easy route in. The shelter was then reasonably dry and a fair amount of daylight could enter over all the occupied parts.

3. The site was abandoned in a hurry when major rockfalls took place on a single occasion from the walls, the roof and, above all, from the cliff face outside. These massive falls were, presumably, triggered off by some minor earth tremor in the area.

4. A few of the inhabitants were killed by these rockfalls while trying to escape.

5. The rockfalls sealed the cave and altered the micro-climate within to such an extent that the rapid deposition of flowstone occurred from multiple drips from the roof.

6. The cave remained sealed till its discovery in 1919, that is it was sealed for about 2000 years.

Gravures et peintures rupestres de l'homme primitif dans les grottes Helléniques

A.J.PETROCHILOS (Athènes/Grèce)

Les recherches spéléologiques en Grèce, commencées systématiquement depuis la fondation de la Société Spéléologique de Grèce 1950, ont mis au jour plusieurs vestiges de l'homme vivant dans l'espace hellénique, depuis l'époque paléolithique jusqu'à l'époque néolithique comprise.

Ces vestiges se réduisent à des ossements d'hommes et d'animaux, outils de pierre et d'os, bijoux des mêmes matériaux, statuettes de terre ou de marbre, vases en céramique, etc..

Les dernières découvertes très importantes à l'intérieur et aux abords des grottes, consistent en des peintures et gravures rupestres noires ou multicolores, qui témoignent d'une civilisation considérable au cours de cette période.

Les régions où de semblables découvertes ont été faites sont au nombre de trois :
1) Pilion de Volos (Thessalie)
2) Mani occidental (Laconie)
3) île de Céphalonie (Eptanisses).

Grottes de Volos

Gravures

Les premiers ouvrages d'art paléolithiques caractéristiques furent découverts dans la grotte "Cestas", de dimensions : longueur 17 m., larg. 1 - 3 m., h. 1 - 3 m., prof. 5,5 m. Elle est située sous le sommet du mont "Sarakina" du massif du Pilion, à une altitude de 500 m., près de Makrinitsa de Volos. Il s'agit de plaquettes extrêmement intéressantes, sur lesquelles sont gravées diverses représentations, illustrant les occupations, les préférences et la vie en général des habitants de la région.

La première plaquette a été découverte en novembre 1964 (1) à la surface d'une petite cavité de la grotte, à gauche de l'entrée. Elle consiste en une pièce de schiste noir (provenant de la région) de forme triangulaire, haute de 0,155 m. Elle représente un couple humain se tenant par la main et un harpon pointu cylindrique comportant 7 pointes, un bout effilé et même son extrémité postérieure formée en pointe, composant un ensemble de type magdalénien (Fig.1).

Dans la même caverne, une fouille improvisée a mis au jour - recouvertes par des couches d'outils microlithiques de l'époque paléolithique supérieure - 5 plaquettes de plus et quelques fragments d'autres plaquettes.

La seconde plaquette est en schiste rouge (roche de la région), longueur de 0,093 m. et provient d'une plaquette plus grande dont la partie gauche manque. Sa gravure bien marquée représente une femme nue, un archer visant un animal et derrière lui un demi-cercle. En bas et à droite, un serpent et un harpon pointu à 5 pointes. Entre la femme et l'archer, sur le haut de la plaquette, il y a un trou, correspondant probablement à un semblable dans la partie manquante.

Peut-être les suspendait-on comme offrandes (Fig.2).

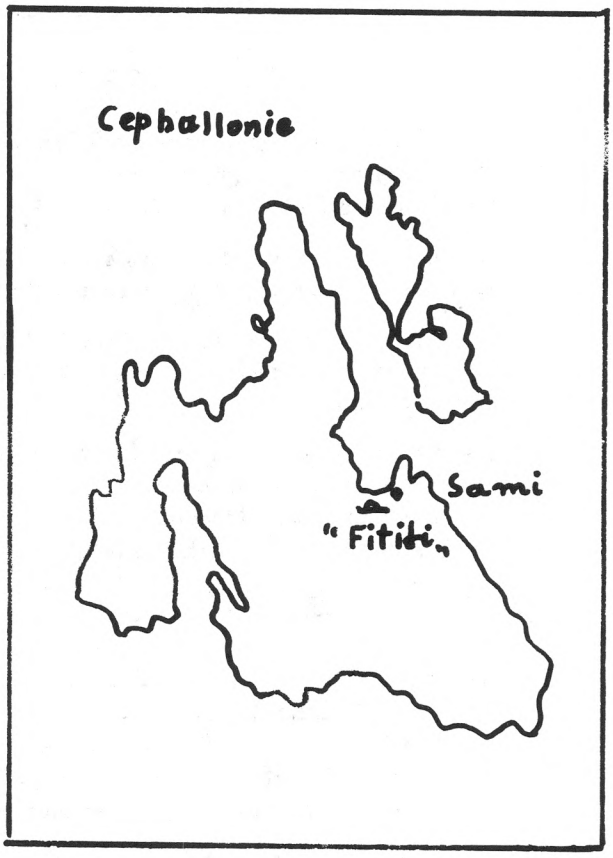
La troisième, du même schiste, haute de 0,085 m., est de forme triangulaire et brisée en différents endroits. Elle représente deux personnages sur le point de se donner la main et au-dessus d'eux un dessin rappelant un autel bicorne de la Crète minoïque. Près du bord supérieur elle porte un trou de suspension (Fig.3).

La quatrième, de schiste violet, longue de 0,092 m., de surface lisse et gravée profondément, de style différent des précédentes (traits plus épais), représente des danseurs ou une scène cérémoniale. Le premier personnage porte une massue (semble-t-il), le deuxième porte une couronne, le troisième est une femme. Le quatrième rappelle une forme humaine mais diffère des trois précédents. Plus à droite, deux huttes de rondins, la première au-dessus de la seconde. De cette image on peut conclure que les hommes habitaient entre autres, pendant l'époque paléolithique supérieure (suivant les conditions de vie), des huttes à toits horizontaux ou à double pente (Fig.4).

La cinquième plaquette, de schiste violet, de surface et de forme irrégulière de 0,098 m., représente deux

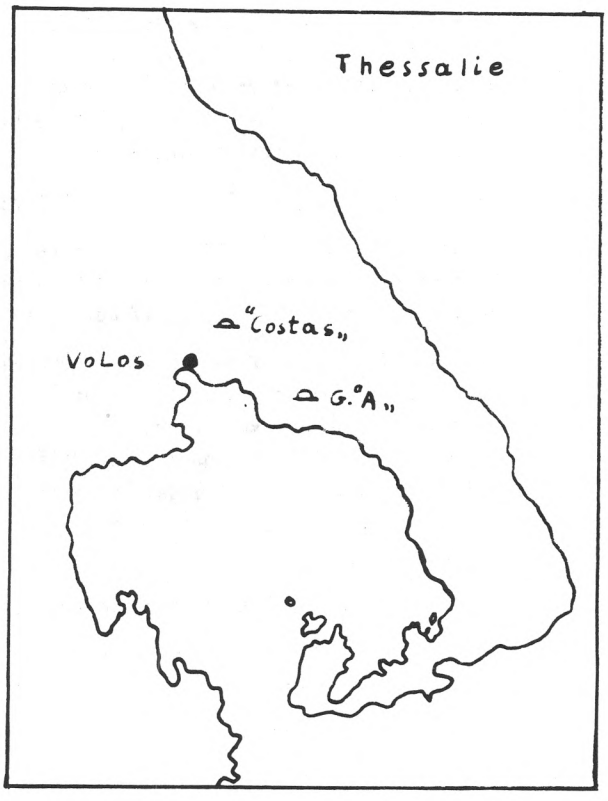
Carte de la Grèce
Régions où des peintures et gravures rupestres
ont été découvertes

Cephallonie

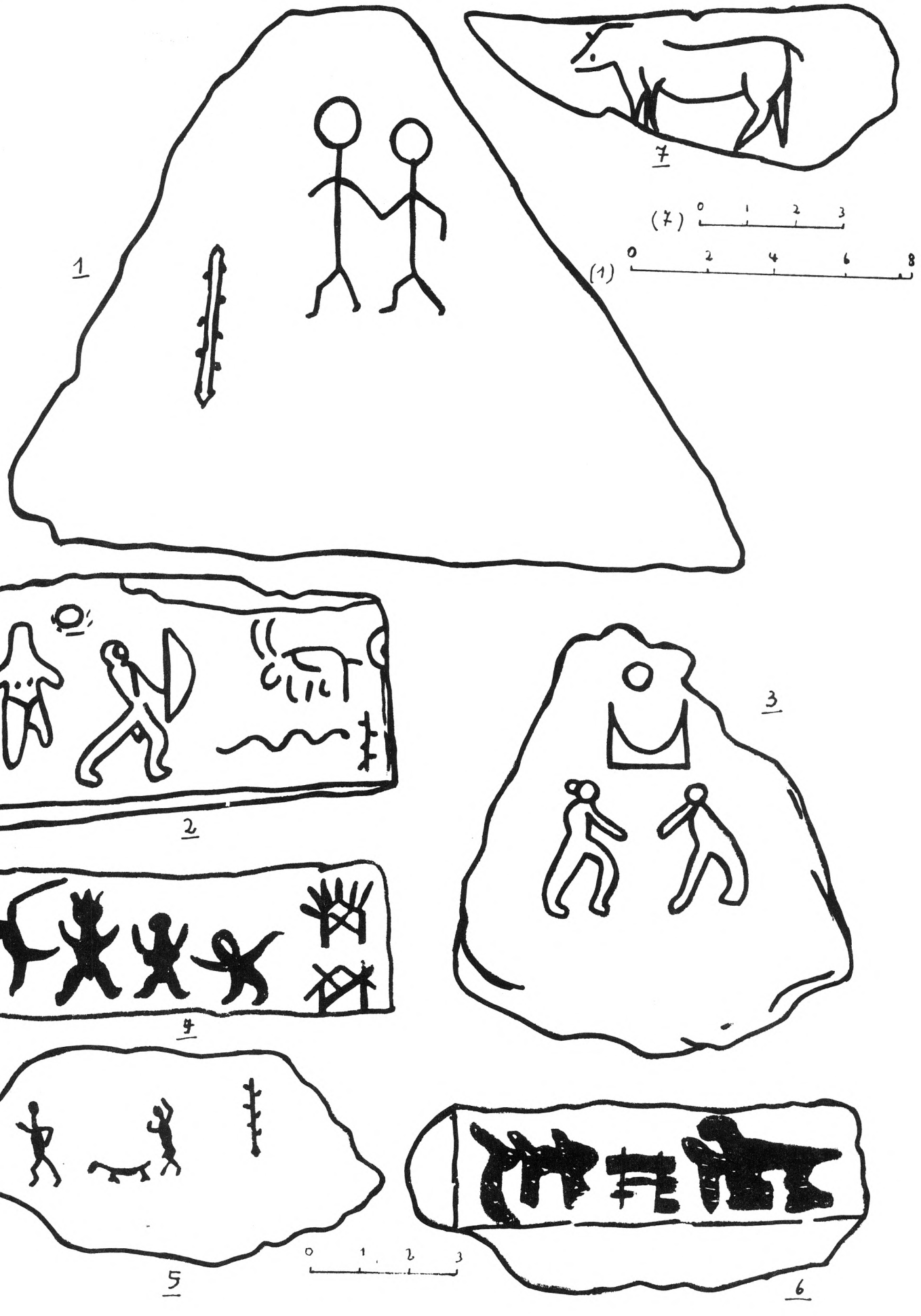


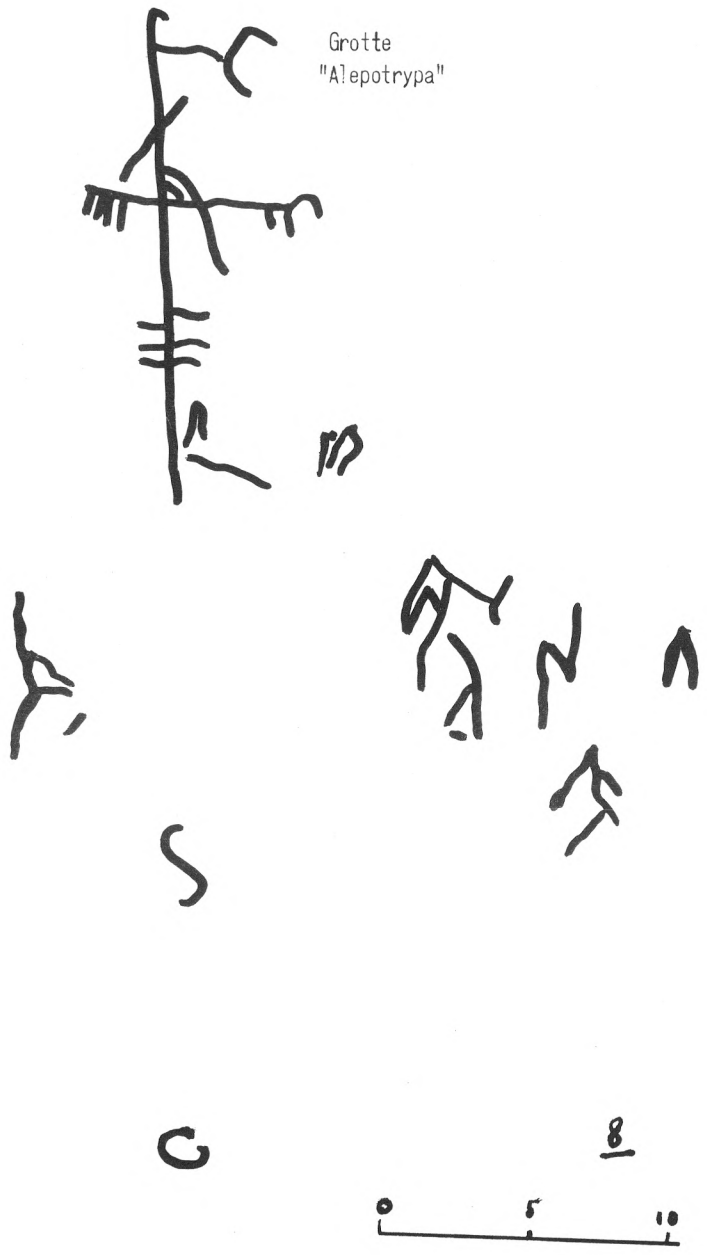
Peloponnese

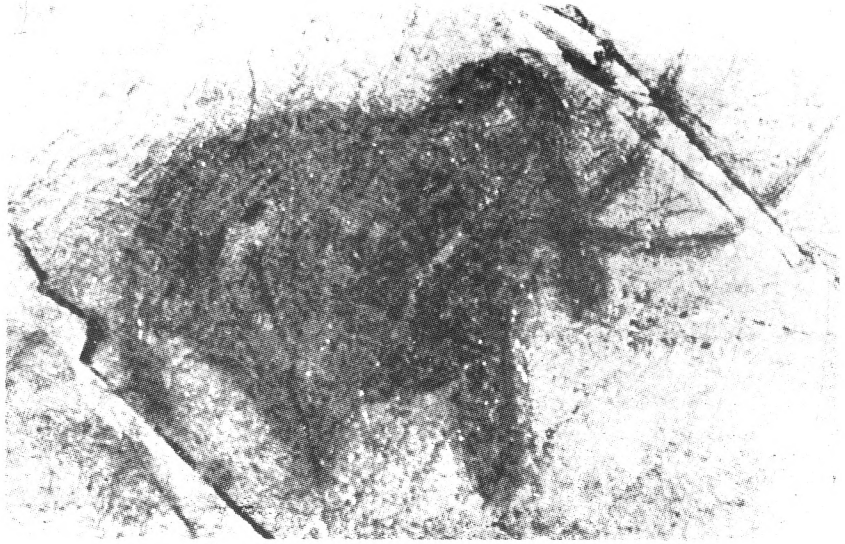
Thessalie



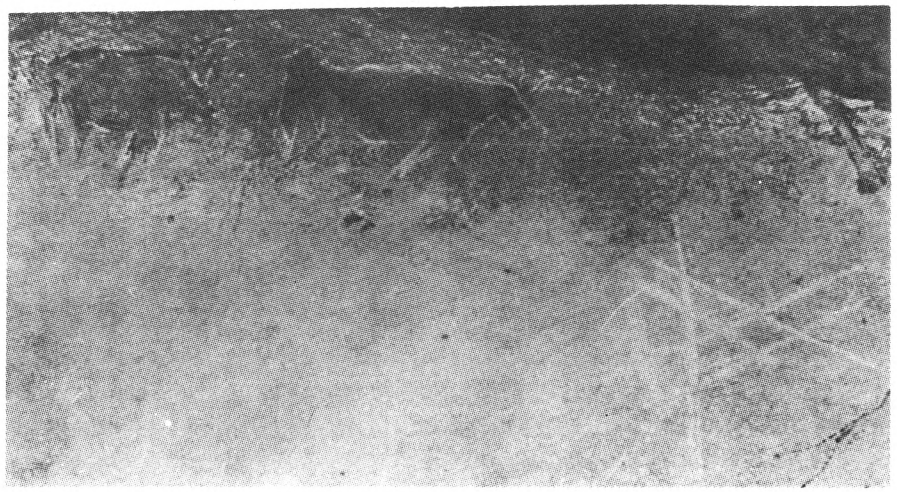
Plaquettes de la grotte "Costas"





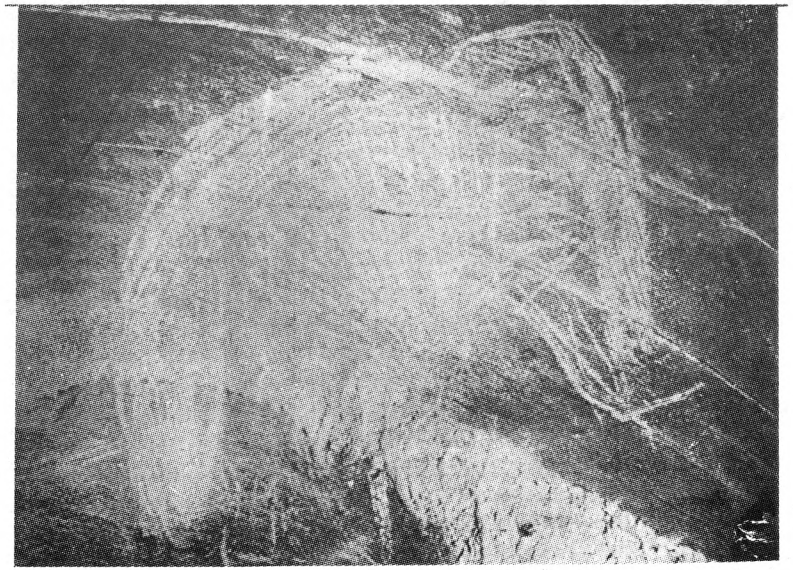


Fot. 1 und 2:
PILION de VOLOS (Thessalie) "Grotte A"
Peintures Rupestres



Fot. 3

PILION de VOLOS (Thessalie)
"Grotte A"
Peintures Rupestres

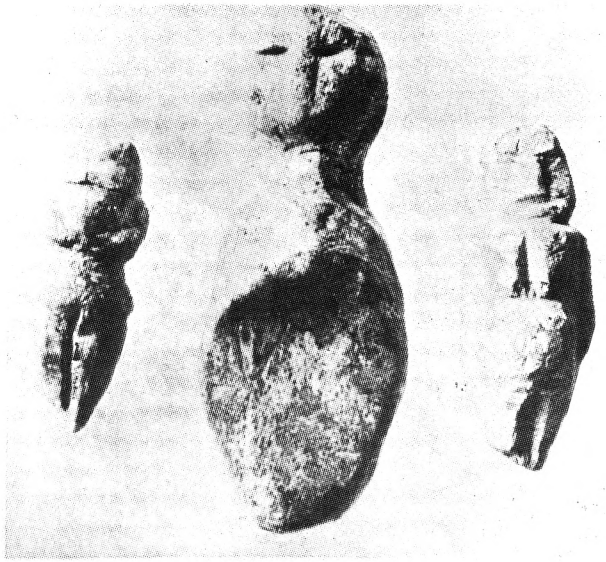


Fot. 4

MANI OCCIDENTAL (Laconie) Grotte "Alepotrypa"
Peintures Rupestres

Fot. 5

Fot. 6



Fot.7

chasseurs avec leurs chiens et un harpon à six pointes. A cause de la présence du chien (naturellement apprivoisé), elle est considérée comme ultérieure à l'époque paléolithique (Fig.5).

La sixième, en schiste dur de couleur brunâtre, de forme irrégulière allongée, porte sur son côté inférieur gauche des traits servant à son alignement. Elle représente trois têtes d'animaux, une grille, ensuite une nouvelle tête de tête - pareille aux trois premières - et enfin un animal entier. Elle peut signifier un troupeau avec une porte de bois et un chien en gardien. Son exécution est différente de celle des autres plaquettes et consiste en traits parallèles successifs (Fig.6).

On a aussi découvert deux fragments de plaquettes gravées, l'un présentant des symboles curvilignes et l'autre une scène de chasse (formes d'homme et de chien).

Un autre fragment trouvé porte de simples perforations. Peut-être n'ont-ils pas eu le temps de le décorer, ou bien les dessins ont été effacés.

Selon toute probabilité, la grotte "Costas" était réservée au culte. Les plaquettes découvertes à son intérieur sont considérées comme intermédiaires, liant l'époque paléolithique au début de l'époque néolithique.

A Paléocastro, près des villages Agios Vlassios et Ano Lekhonia, situés à 20 km au SE de Volos, un outil de schiste dur en forme de pic, long de 8 cm et gravé de l'image d'un cheval sauvage, a été découvert à l'extérieur d'une autre grotte mesurant à peine 5 x 4 m. Il fut considéré comme le plus ancien objet d'art en Thessalie (Fig.7).

Tous les objets précédemment mentionnés sont exposés au Musée archéologique de Volos.

Peintures rupestres - statuettes

En plus des plaquettes de pierre gravées, les recherches ont permis de découvrir dans cette même région d'autres objets d'une importance .

Dans une grotte longue de 15 m. nommée " Grotte A " située à une altitude de 200 m. dans l'extrémité NO du massif du Pilion, on a découvert, pour la première fois en Thessalie, des peintures rupestres sur les parois et le plafond représentant pour la plupart des formes d'animaux (elephas et bos primigenius, bison, cervides et un poisson) et en nombre moindre des formes humaines. Ils sont exécutés par gravures du contour, puis coloration du dessin soit sur toute sa surface, soit sur le contour seulement. Les couleurs employées sont le rouge sur toutes les nuances (jusqu'au rose clair), le marron et le violet. La gravure est très mince sur le roc, tandis qu'elle est plus profonde dans la matière stalactitique.

Les représentations sur son plafond les plus caractéristiques sont : un mammouth de couleur rouge, exécuté quelque peu maladroitement; (Phot. 1) deux autres animaux dont l'un est clairement un boeuf de couleur plus claire et de contour gravé plus profondément que le précédent. A côté de lui, deux symboles gravés (Phot.2).

Mais la plus merveilleuse oeuvre artistique dans toute la grotte est l'image d'une bête blessée (une antilope peut-être), qui est atteinte en courant par la flèche meurtrière, tourne la tête en arrière et tombant à genoux est sur le point de se coucher pour toujours. Cette image est unique dans son genre, tant par son exécution admirable que parce qu'elle présente une variété de couleurs, réunissant le marron, le violet et le rouge, de nuance plus claire au ventre et plus sombre aux extrémités. Au-dessus et au-dessous de l'animal on distingue à peine des figures humaines (Phot.3).

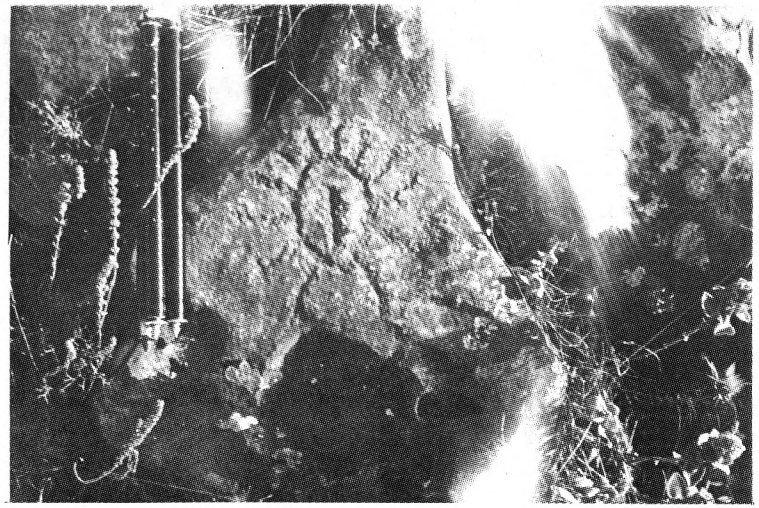
Dans cette même grotte il y a aussi des dessins d'hommes et d'animaux gravés mais non colorés. Les plus caractéristiques sont : un mammouth (sur le plafond) avec d'autres images d'animaux. Sa fourrure épaisse est interprétée par plusieurs entailles dans le roc (Phot.4).

Une fissure courbe de rocher a servi à rendre le dos d'un éléphant, qui a été complété par gravure. Sur un autre endroit on remarque gravées des formes humaines, l'une d'elles couchée et l'autre assise. Diverses formes humaines sont visibles sur une surface stalactitique et entre elles on distingue une femme nue - peut-être Vénus - (Phot.5) Cette même grotte recelait une plaque sur laquelle on avait gravé puis coloré de rouge un mammouth; à son côté le même symbole se trouvant près des deux animaux du plafond dont nous avons parlé.

Sur une autre pierre très allongée est gravé le contour d'un mammouth, qui est continué sur la face arrière légèrement coloré de rouge.

Un autre mammouth a été trouvé gravé sur une pierre coincée entre deux stalactites dans une petite cavité. Dans ce même enfoncement était posée une autre pierre gravée d'un dessin ressemblant à la tête et aux seins d'une femme. Une autre dépression recelait également une pierre posée, gravée de figures humaines.

En plus des découvertes mentionnées, on a trouvé une Vénus paléolithique authentique en ivoire (de mammouth peut-être), des statuettes de la même matière et autres objets d'art portatifs (Phot. 6).

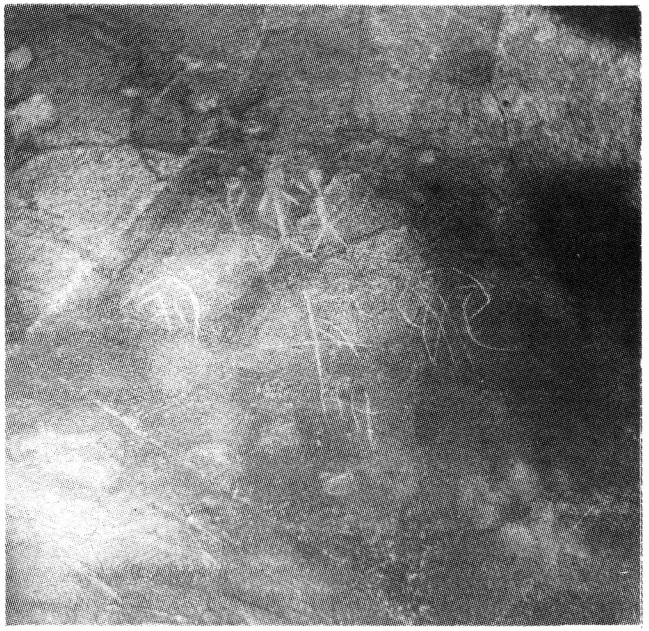


Fot. 8

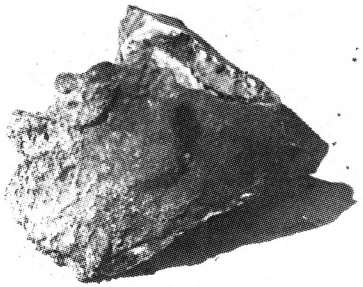
MANI OCCIDENTAL (Laconie)
Grotte "Alepotrypa"

Peintures Rupestres

Fot. 9



Fot. 10

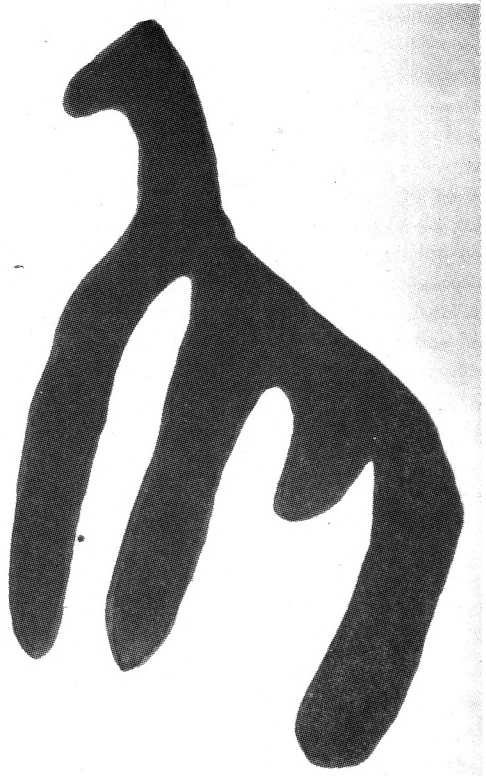


Fot. 11

SAMI de Cefallonie
Grotte "Fitidy"

Peintures Rupestres

Fot. 12



H 67

Les découvertes décrites ci-dessus ont porté à caractériser cette grotte comme lieu de culte des habitants paléolithiques de la région. Leur technique est classifée comme appartenant à l'époque paléolithique supérieure, c'est-à-dire 35.000-10.000 ans av. J.C.

Dans cinq autres grottes de la même région on a aussi découvert des peintures rupestres paléolithiques et on a bon espoir d'en découvrir d'autres.

Les découvertes paléolithiques de la région de Volos ont ouvert de nouvelles perspectives pour la connaissance de la Grèce préhistorique dans la région de Thessalie .

C'est au savant et infatigable archéologue M.D. Théocharis, directeur du Musée de Volos, s'occupant depuis des années de l'étude préhistorique de cette région, que nous devons ces conclusions de ses études, puisées de ses communications et publications (2).

(1) Toutes les découvertes sont dues aux membres du groupe spéléologique de Volos, MM. N. Velissiotis, G. Patenaris et C.Panayiotopoulos.

(2) D.R. Théocharis : "L'art paléolithique au Pilion" (Thessalika, Tome V, pp. 76-82)
D.R. Théocharis : "L'aube de la Thessalie préhistorique". 1967.

Grotte de Nani occidental (Laconie)

Des recherches préliminaires dans la grotte "Alepotrypa", située à Portarakia, au fond de la baie de Dyros de Laconie (Péloponèse du S.O.) ont révélé en septembre 1967 (1) des peintures rupestres de l'époque paléolithique supérieure ou néolithique (1).

La première se trouve sur un rocher tombé au centre de la "Grande Salle" (150 m. de l'entrée). Elle représente (de haut en bas) : un singe, semble-t-il, contre les mauvais esprits (2), un homme courant, une femme dansant, des formes confuses (humaines peut-être), un dessin en forme d'S, une femme courant en sens inverse de l'homme et, vers le bas, un cercle (Fig 8). Les représentations sont à peine visibles à cause d'une mince couche de matière calcitique qui les a recouvertes. Elles ont été exécutées par gravures et ensuite remplissage du tracé de peinture rouge

Deux autres peintures rupestres ont été découvertes dans une chambre située au point élevé de la paroi droite de la "Grande Salle". L'une d'elles se trouve sur un rocher blanc suspendu à l'intérieur de l'entrée et l'autre à la fin de la paroi droite, sur de la matière stalactitique rougeâtre. Toutes deux ont été exécutées dans le même style que la première peinture.

La deuxième peinture représente: un animal, une femme dansant, un homme portant une couronne, une figure humaine inachevée, de nouveau le signe contre les mauvais esprits, enfin le symbole de la fécondité du sexe féminin.(Phot.7) Ce même symbole a été découvert, frappé d'un outil pointu, sur le rocher à 300 m. environ de la grotte (3).(Phot. 8) La troisième comprend : trois danseurs, un oiseau, le signe bien connu... contre les mauvais esprits et enfin une méduse, paraît-il.(Phot.9).

Sous les représentations, dans une petite fossette (1 x 1,5 centimètres), il y a de la peinture rouge, probablement pour la coloration des dessins.

Sur le sol de la chambre il y a des grands vases d'argile brisés, immobilisés par de la matière calcitique blanche.

Les recherches se poursuivent et nous espérons avoir bientôt de nouvelles découvertes.

En tous cas, la grotte "Alepotrypa", avec les découvertes de 1958-61 (4) et récemment avec ses peintures rupestres est considérée une des plus importantes grottes préhistoriques d'Europe.

Références :

(1) La première a été découverte par M.N. Velissiotis, membre de la Société Spéléologique hellénique, et les deux autres en collaboration avec Mme Anne Pétrochilos, présidente de la S.S.H., et M.A. Deliverrias, directeur du Musée de Sparte. Son âge n'a pas encore été déterminé avec précision.
(2) Elle rappelle les poteaux qu'on enfonçait dans le sol pour y suspendre des crânes et autres objets susceptibles d'éloigner les mauvais esprits.
(3) Il a été découvert en 1961 par Mme Anne Pétrochilos et a été déterminé par le paléontologue M.Emil Coufalik en 1966, lors de la rencontre gréco-tchécoslovaque organisée par la Société Spéléologique hellénique.
(4) Outils en pierre et en os, crânes humains, ossements d'hommes et d'animaux, bijoux faits d'huîtres, de pierres et d'argent, vases d'argile, etc., Communication d'Anne Pétrochilos au 3e Congrès Spéléologique international, Vienne 1961.

Grotte de Sami (Cephallonie)

Dans la grotte "Phytidi", située près du village Vlachata, ont été découverts en juin 1966 deux dessins (1), l'un à son intérieur sur de la matière stalactitique et l'autre à son extérieur près de l'entrée sur le rocher.

Le premier semble présenter un serpent, d'une sinuosité merveilleuse vers la tête. (Phot.10) Le second représente un animal, une giraffe semble-t-il. Les deux pattes antérieures et la dernière ont même longueur, mais la troisième est plus courte, elle a peut-être été effacé par usure du rocher. (Phot.11,12)

Les deux dessins ont été faits à la peinture noire (sans entaille), par lignes épaisses d'un centimètre. Ils ont probablement été exécutés d'un doigt trempé dans la peinture d'un seul trait, parce que le dessin est plus vif vers la tête et plus pâle vers la queue. Ils sont considérés comme les plus anciennes peintures rupestres découvertes dans les grottes de Grèce et sont âgées de 35.000-25.000 ans (2).

(1) Leur découverte est due à M. Ota Ondroucek, président de la Société Spéléologique de Brno (Tchécoslovaquie), lors de la rencontre gréco-tchécoslovaque organisée en 1966 par la Société Spéléologique hellénique.

(2) Ils ont été datés par les outils (en kératolithe) découverts dans la grotte et étudiés par les paléontologues MM. Pr. Dr. Koufalik, Ondrouckk et Dr. Valoch, directeur du Musée de L'Homme de Brno.

Höhle und Karst im Mythos und der Kultur der Hellenen

HANS GEMÜND (München / Bundesrepublik Deutschland)

Disposition:

A Einleitung: Begriffliches, Stoffliches; die physischen Wurzeln in den Mythen und Kosmogonien der Völker

B Höhle und Karst im Mythos und der Kultur der Hellenen:
- I die Höhle in den Mythen der Hellenen
- II der Karst geologisch und morphologisch im Mythos der Hellenen
- III Höhle und Karst in ihrer Bedeutung für den geometrischen Stil der Hellenen
- IV Karstformen als Wurzeln des hellenischen Tempels

C Die Geomorphologie und der Gestaltungs- und Formwille; Überwindung von Vururteilen. - Ursache und Wirkung in der Physis wie in aller Kultur. -

A Einleitung

Ernst von Lasaulx kennzeichnet vor 120 Jahren die Geologie als "die Verkörperung der göttlichen Gedanken in der Natur", welche zu erforschen sie sich anschicke und preist den eigentümlichen Reiz, der darin liege, die historischen Anfänge der Geologie aufzusuchen. - Er nennt uns als ersten europäischen Denker, welcher geologische Erscheinungen beobachtete und zu erklären versuchte, den Begründer der All-Einslehre, den Xenophanes von Kolophon. - Und mit E. von Lasaulx können wir teilnehmen an seiner Wahrnehmung, dass "was bei uns das letzte Resultat umfassender wissensch. Forschung ist, dort (im Altertum) als der erste gelungene Wurf jenes wunderbaren wissenschaftlichen Instinktes erscheint, durch welchen die Griechen ohngeachtet ihrer mangelhaften Kenntnis des Materials doch so oft das Wahre getroffen haben." Aristoteles sieht in der Mythologie einen Rest einer früheren in vorgeschichtlicher Zeit untergegangenen Naturerkenntnis, welche die Hellenen "gern in Mythen rätselhaft einhüllten (so der griech. Geograph Strabon, der um die Zeitwende umfassende geograph. Berichte über den Mittelmeer-Raum verfasst.) - Noch exakter lehrt uns die Psychologie unseres Jahrhunderts, dass das Erinnerungsvermögen im Unbewussten bis zu den Anfängen der Menschheit zurückreicht und dass spez. der Mythos "in Urzeiten wurzelt" (C. G. Jung und Karl Kerenyi 1954).

Die ersten Mythen der Völker befassen sich alle mit der Entstehung der Welten, Sterne, Planeten und stellen darüber Theorien auf, welche lebhaft an solche der letzten zwei Jahrhunderte erinnern. Es ging in den ersten Mythen - im Ur-Mythos - darum, physische, astronomische Theorien über die Entstehung der Welt aufzustellen und zugleich diese Ideen in schöner künstlerischer Form darzustellen. Die eigentliche Wurzel des Mythos ist das psychisch-physische Erlebnis der gesamten Umwelt und der Wille zur Sinn- und Entstehungsdeutung der Gestirne, der Erde, und der Wunsch, die Fülle der erlebten geomorphen Erscheinungen zu deuten. Seit Xenophanes und Aristoteles wird bis in unsere Tage die Theorie gewagt und erhärtet, dass zwischen der Natur des Erdbodens und dem Charakter und dem Leben seiner Bewohner eine Wechselbeziehung nach Ursache und Wirkung, eine "durchgehende Analogie" bestehe. Die Wissenschaft der vergleichenden Mythologie stellt diese Wechselbeziehungen unter Beweis, denn die Mythen der Völker beruhen in ihrer Unterschiedlichkeit in erster Linie in den unterschiedlichen geographischen und geologischen Umwelt-Fakten der jeweiligen Völker.

Der Mythos erfüllte in der Frühgeschichte der Völker die wichtige Aufgabe, ihnen ihre Umwelt verständlich zu machen, da - durch das Tun und Lassen zu lenken. Die Behausung, Kleidung, Nahrung, Jagd - sie alle hingen in ihrem Erfolg davon ab, dass die Umwelt, also die Erdoberfläche mit allen ihren Erscheinungen und Wandlungen erkannt und dann beherrscht werden konnte.

B I die Höhle in den Mythen der Hellenen.

Welch grosse Rolle die Höhle im Mythos der Hellenen, in allen ihren Götter-, Heroen- und Menschheitsgeschichten spielt, sollen nun einige Textauszüge unter Beweis stellen (Karl Kerényi: Die Mythologie der Hellenen, Band I und II). Von jeher haben Höhlen die Fantasie beflügelt; in den Mythen wird die Höhle auch als Wohnstatt den Göttern zugewiesen - solange wie sie auch den Menschen als Wohnstatt dienen musste. Beides hebt die Höhle hoch über sonstige morphologische Erscheinungen heraus.

"Die drei Schicksalsgöttinnen, die Moirai, Töchter des Zeus und der Göttin Themis, wohnten in einer H ö h l e des Himmels an einem Teich, dessen weisses Wasser durch eben diese H ö h l e hervorbricht." (I, 36)

"Die greisen Jungfrauen Graiai wohnten, wo weder Sonne noch Mond schien. Es ist eine H ö h l e am Eingang zum Lande der Gorgonen gewesen, dem Lande der "Felsenrosen" (Jenseits des Okeanos)".
"Ladon, Sohn der Gaia oder der Echidna und des Typhon, war zum Hüter des Baumes eingesetzt, der die goldenen Äpfel trug. Er hielt sich in den H ö h l u n g e n der schwarzen Erde auf." (I, 47).

"Nicht nur der Berg Aigaion nahe bei Lyktos auf Kreta mit seiner H ö h l e erhob den Anspruch, Ort der Geburt und der Kindheit des höchsten Gottes Zeus zu sein; auch der Berg Dikte und der Berg Ide, beide mit einer heiligen H ö h l e , wurden dafür gehalten." (I,68)

"Als Ort der Hochzeit des Zeus mit Europa - die sich willig von ihm über das Meer tragen liess - galt die diktäische H ö h l e auf Kreta." (I, 88)

"Apollo kam mit seiner Mutter Leto nach Delphi, wo der Drache Python, eine Ausgeburt der Erdgöttin Gaia, hauste; seine Behausung war eine H ö h l e, die an einer Quelle lag". (I, 1o8)

"In einer H ö h l e, unter dem Gipfel des Pelion, erzog jener Chiron, Sohn des Ixion, Göttersöhne und Helden, vor allen den göttlichen Arzt Asklepios." (I, 128)

"Die Göttin Maja, die ihrem Gatten, dem Gotte Zeus, seinen geschicktesten Sohn schenkte, den Hermes, hauste in einer dunklen H ö h l e, als sie ihren Sohn empfing und gebar. Es war eine H ö h l e des Berges Kyllen in Arkadien." (I, 129)

"Hermes blieb nicht lange in der H ö h l e in seiner heiligen Wiege, sondern erhob sich und schritt über die Schwelle der hohen Grotte ... geraden Weges schritt er mit leichtem Fuss durch die H ö h l e und erklärte seiner Mutter: 'es ist doch besser, in aller Ewigkeit mit den Unsterblichen zu schäkern, in unermesslichen Reichtümern, als hier in der dämmerigen H ö h l e zu hocken." (I, 130 - 132)

"Die einzige berühmte Liebesgeschichte unserer Mondgöttin ist kleinasiatischen Ursprungs und spielte sich in einer H ö h l e ab. Wenn die Mondgöttin Silene hinter dem Gebirgsrücken Latmos in Kleinasien verschwand, besuchte sie ihren Geliebten Endymion, der dort in einer H ö h l e schlief. Endymion wurde von der Mondgöttin selbst mit ewigem Schlaf beschenkt, damit sie ihn immer in der H ö h l e finden und küssen konnte." (I, 156)

"Nur die zarte Tochter des Persaios, die Göttin mit dem glänzenden Kopfschmuck, vernahm den Schrei der Persephone aus ihrer H ö h l e und Helios hörte ihn, der herrliche Sohn des Hyperion." (I, 184)

"Die Geister der Toten folgten dem Stab des Hermes, des Gottes von Kyllene, schwirrend wie die Fledermäuse im Winkel einer heiligen H ö h l e." (I, 195)

"Der Ort der Hochzeiten des Zeus mit Demeter und mit Persephone und der Ort der Geburten, die auf die Zeugung folgten, war eine H ö h l e, - von den Orphikern als H ö h l e der drei Nachtgöttinnen und des Phanes aufgefasst. Doch wurde jene H ö h l e auch unabhängig von der orphischen Auffassung dargestellt und mit rein griechischen Gestalten gefüllt." (I, 198)

"Demeter kam aus Kreta und entdeckte in Sizilien, in der Nähe der Quelle Kyane, eine H ö h l e. Darin verbarg sie ihre Tochter Persephone. ... In der H ö h l e arbeitete die Jungfrau mit Wolle, wie dies auch unter dem Schutz der Pallas Athene auf ihrer heiligen Burg in Athen üblich war." (I, 199)

"Sogar die H ö h l e wurde gezeigt, wo Ino, die Schwester der Mondgöttin Semele, das göttliche Kind Dionysos gepflegt hatte. 'Garten des Dionysos' hiess jene Gegend." (I, 207)

"In einer H ö h l e des Kithairon, auf der attischen Seite des Gebirges, wurden die thebanischen "Söhne des Zeus", die Zwillinge des Amphion und Zetho geboren. Eine Quelle entsprang vor der H ö h l e." (II, 47)

"Die Najaden, die Quellen - Nymphen, wohten in einer H ö h l e der Insel Seriphos, wie sie auch anderswo in den Tropfstein-H ö h l e n der griechischen Berge ihre Wohnungen hatten." (II, 47)

"Herakles schoss mit feurigen Pfeilen in die H ö h l e und zwang die Unterweltschlange so zum Erscheinen." (II, 118)

"Herakles wurde vom Kentauren Pholos in dessen H ö h l e in Thessalien gastfreundlich aufgenommen." (II, 122)

"Der Kampf des Herakles mit den Kentauren wogte vom Pholoe-Gebirge bis zur H ö h l e des Chiron am Kap Malea." (II, 123)

"Volcanus waltete nicht weit von der H ö h l e seines Sohnes Cacus in den Flammen der leichenverbrennenden Scheiterhaufen. Cacus stahl dem Herakles vier Stiere und vier Kühe und zog sie in seine H ö h l e ." (II, 137)

"Jason und Medeia feierten ihre Hochzeit in der H ö h l e der Makris, der Insel-Nymphe." (II, 214)

"Sieben Monate soll Orpheus unter einem mächtige Felsen an der Mündung des makedonischen Stromes Strymon in einer H ö h l e verbracht haben." (II, 223)

Die oben angeführten Beispiele stellen Einiges unter Beweis: Allgemein kann die Höhle im hellenischen Mythos n i c h t als Symbol für Erdgötter und -göttinnen angesehen werden (also für chthonische Gottheiten). Denn aus den Mythentexten geht hervor, dass dem Mythenerzähler, dem "Rhapsoden", stets eine ganz bestimmte, örtlich auffindbare Höhle vorgeschwebt hat - wenn sich in der Folgezeit aus Gründen eines verständlichen Lokalpatriotismus der Standort der Höhle auch verändert haben mag. Zum anderen ersehen wir aus der Beschreibung mancher Höhlen, dass und in welchem Masse Helmut Bervè recht hat, wenn er sagt, dass die Hellenen 1000 Jahre im Raume des Dinarischen Karstes "gleichsam aufgespart blieben", bis sie am Ende des 2. Jahrtausends vor Chr.Geb. ihren Wanderzug nach Süden antraten. Dieser Dinarische Karst darf als Karstgebiet par excellence angesehen werden. Hier standen die Hellenen als Hirtenvolk unter dem ständigen unmittelbaren Eindruck schönster eindrucksvollster karstmorphologischer Erscheinungen. Die dortigen Dolinen, Jamas, Schlote, Gletschertöpfe, Eishöhlen mussten ihre Fantasie umso mehr anregen, wenn sie unter dem Eindruck strenger geometrischer und stereometrischer Formen standen, wenn sie den Kreis, die Ellipse, den Zylinder und Kegelstumpf im Gletschertopf erkannten - noch dazu im Schmuck der stets gleichförmigen segmentförmigen und scharfkantigen Karrenrillen, welche sie in tieferen Höhenlagen nicht vorfanden.

Umso eher waren sie geneigt, diese Wunderwelt als "von Götterhand" geformt zu erkennen, In diesem Jahrtausend und allein in dieser Umwelt konnten jene Mythen entstehen, wachsen und reifen - und sodann viele Jahrhunderte von Mund zu Mund weitergetragen werden, denn es gab damals ja noch keine Schrift. Es ist kaum eine Landschaft denkbar, welche auf ein jung entwickeltes Hirtenvolk so einzuwirken in der Lage war, als der Raum des Dinarischen Karstes. Das heutige Antlitz dieses Raumes können wir mit demjenigen vor viertausen Jahren nicht vergleichen, denn das Klima im Bereich der hoch gelegenen Weiden und Triften war ausgeglichener, wärmer, die Fauna und vor allem die Flora reicher, die Karstformen sicherlich noch ausgeprägter (der Einfluss humöser Wässer auf die Gestaltung der Karrenrillen!). Wenn Hesiod im achten vorchristlichen Jahrhundert seine Theogonie niederschreibt (auf dem Gipfel des Helikon unweit Theben habe ihn die Muse geküsst), und wenn er seine reiche Götter-Genealogie entwirft, so ist uns heute glaubhaft, dass er damit kein autochthones Erstlingswerk schuf, sondern dass er mit seiner Theogonie nur ordnende Hand an einen reichen Schatz von Einzel-Mythen legt, welche damals noch in allen Landen Hellas' mündlich weitererzählt und von Rhapsoden gesungen wurden. Und es ist durchaus schon eine Spätform, in welcher bei Hesiod die Mythen erscheinen; die Göttergestalten dominieren, der Gott, die Göttin als Symbol für erdgeschichtliche Wandlungen werden damals schon nicht mehr richtig begriffen - um wieviel weniger einige Jahrhunderte später, als sich Dichter und Philosophen des Mythenschatzes bemächtigen, die Göttergeschichten ausmalen, variieren, noch später sie bespötteln. Diese Spätform der Mythologie gibt heute der Pyscholgie und Tiefenpsychologie - durchaus mit Recht - ein weites Feld zur Durchforschung auf.

Uns interessiert hier jedoch n i c h t das schmückende Beiwerk der Götterlegenden, sondern die Idee, die Symbolik des Ur-Mythos, wie er von Höhle und Karst, allgemein gesagt, von geographischen, geologischen und morphologischen Erscheinungen entscheidend geprägt wird.

B II Der Karst geologisch und morphologisch im Mythos der Hellenen

Auch hierzu eine Vorbemerkung: Im frühen kosmogonischen Mythos wird alle Natur personifiziert, durch Göttergestalten symbolisiert - Sonne, Mond und Sterne, Himmel und Erde, Tag und Nacht, die vier Elemente, Winde, Wolken, Morgen- und Abendröte, usw., usw. Das Prinzip des "symbolon", die unmittelbare Gleichsetzung der o.a. Fakten mit Göttergestalten heute noch abtun zu wollen, ist nicht möglich. Aus Bekanntem folgern wir auf noch Unbekanntes: Noch ist in der Wissenschaft von den Mythen nicht gemeinhin anerkannt, was nach Kenntnis der Urmythen der Völker und Kenntnis der Grundlagen der Geologie sich als Ideen-Assoziation geradezu aufdrängt: Auch wesentliche Stadien der Erdentwicklung sind im Mythos erkannt und dargestellt. Dass wir auf sehr s p ä t e Niederschrift der Mythen bei unserer Forschungsarbeit angewiesen sind, soll uns nicht daran hindern, einen Weg zu beschreiten, der nur durch das Setzen von Theorien möglich ist. Das ist aber zugleich der Weg, welchen die exakten Wissenschaften einschlagen. Die Geheimnisse der Welt ebenso wie die Geheimnisse der Mythen können immer nur schrittweise angenähert erforscht werden. Stets steht am Anbeginn eine Theorie - mag sie verlacht werden und hinfällig werden. Noch gilt es manchem Mythenforscher als unwiderlegbar, dass sich der Mythos jeder rationalen und logischen Deutung entziehe, dass also alle Aussagen des Mythos auf persönlicher oder künstlerischer oder religiöser Willkür beruhten. Ob man darüber nicht auch anders denken kann, dazu mögen die folgenden Berichte anregen.

> "Als Zeus und die übrigen Götter die Erde unter sich aufteilten, war die Insel Rhodos noch nicht sichtbar. Sie ruhte verborgen in der Tiefe des Meeres. Helios sagte, er sähe vom Grund des Meeres ein fruchtbares Stück emporwachsen. -- Aus den salzigen Gewässern spross die Insel empor". -- "Apollon sah in prophetischem Geiste in den Tiefen des Meeres eine fruchtbare und gesegnete Insel und bat, dass diese Insel einst sein Eigentum werde. -- Rhodos stieg aus dem Meere hervor und Apollon umarmte die Nymphe Rhodos" (Texte nach K. Kerenyi und G. Herrmann 1802).

M.E. konnte das Prinzip der Hebung und Senkung der Erdoberfläche, das Prinzip der Epirogenese (= "Festlandsbildung") nicht schöner und künstlerischer im Mythos ausgesagt werden, als hier es geschehen ist! Fossilienfunde in grosser Höhe, weitab vom Meere liessen den Mythen-Rhapsoden ahnen, dass dereinst Meeresboden war, was sich später zu Inseln, Festland und Kontinent heraushob. Die Grundlagen der Geologie zu erkennen, dazu bedurfte es und bedarf es auch heute nicht der verfeinerten Instrumente der Geophysik.

> "Die abgeschnittene Männlichkeit des Vaters Uranos fiel in das bewegliche Meer. Dorthin warf sie Kronos von der festen Erde. Lange wurde sie hin und her getrieben. Weisser Schaum bildete sich um sie aus der unsterblichen Haut. Ein Mädchen entsprang und wuchs gross darin. Sie schwamm zuerst der Insel Kythera zu, dann aber nach Zypern. Dort stieg die schöne, schamhafte Göttin aus dem Wasser, und junges Gras entspross unter ihren zarten Füssen. Aphrodite nennen Sie Götter und Menschen, da sie aus Schaum geboren wurde." (K. Kerenyi, I, 57)

Meine Deutung der Geschichte von der Geburt Aphrodites muss erst noch durch folgende Hinweise unterbaut werden: Es gibt Bildwerke, welche eine personifizierte Göttin des Meeres darstellen (Thalassa) und diese trägt die soeben geborene Aphrodite auf dem Arme. Auch, dass Aphrodite - noch im Meere ruhend - eine Liebesgeschichte mit einer Muschel gehabt habe, erleichert das Verständnis meiner Deutung. Ferner, dass sie auf einer Schildkröte reitend oder mit dem Oberkörper aus geöffneter Muschel herauskommend dargestellt wird, gibt zu denken. Meine Deutung lautet: Aphrodite symbolisiert das Auftauchen von Sedimenten aus dem Meere. Die Erosion ("abgeschnittene Männlichkeit des Vaters Uranos") und der Kreislauf der Gesteinsmaterie (das Erosionsgut gelangt vom Gebirge über Bäche und Flüsse ins Meer), der Meeresspiegel bzw. der Meeresgrund hebt sich: Die "Insel Aphrodite wird geboren", Sedimente, Muschel-Kalke treten zutage. Wenn Aphrodite zu den Inseln Kythera, Zypern, Rhodos schwimmt, liegt die Sinndeutung nahe, dass diese Inseln nach Glauben der Mythendichter einstmals Meeresgrund waren. Die Absichelung der Männlichkeit des Uranos verliert - wenn sie geologisch als Erosion gedeutet wird - jene Grausamkeit, wie sie für den frühen Mythos, insoweit man ihn geologisch deutet, nicht typisch ist.

Ein weiterer Mythos erzählt von Aphrodite, Ares und Hephaistos. Letzterer war der Gatte der Aphrodite, wurde aber vom Kriegsgott Ares betrogen.

"Hephaistos tat die Nachricht weh. Er ging eilends in die Schmiede und sann Böses. Er schmiedete Fesseln, die unzerreissbar waren und unlösbar, aber auch unsichtbar, zart wie Spinngewebe .... Ares und Aphrodite bestiegen das Bett und schliefen ein. Die kunstreichen Fesseln des Hephaistos umflossen sie und sie konnten kein Glied mehr bewegen."

Hephaistos galt als Schmiedegott und wurde darüber hinaus mit allen unterirdischen Kräften in Verbindung gebracht. So liegt hier die Sinndeutung nahe, dass er die untreue Aphrodite und den Ares als "lockere Sedimente" miteinander verkittete. Die biologischen und mechanischen Veränderungen, die wir heute als "Sedimentologie" bezeichnen, die Veränderung der Sedimente bei der "Diagenese" konnten gewiss von der Intelligenz eines Volkes erkannt - und hier so entzückend in einem Mythos beschrieben werden - von einem Hirtenvolk, für welches die Kenntnis aller Vorgänge in und auf der Erdoberfläche die alltägliche Beobachtung und Beschäftigung mit sich brachte.

"Hephaistos war der Geburtshelfer, der mit einem Doppelbeil oder Hammer dem Zeus auf den Scheitel schlug. Hervor sprang Pallas Athene mit weithin schallendem Schlachtruf, dass der Himmel davon erschauerte und die Mutter Erde. ... Tief dröhnte rings die Erde, tobend schwoll das Meer in Aufruhr der purpurnen Wogen. Über die Ufer stürzte die Salzflut, und lange liess Hyperions Sohn (Helios) die Sonnenrosse stillstehen."

Dem Rhapsoden dürften hier Berichte über Ätna- und Vesuv-Ausbrüche vorgelegen haben oder über die Entstehung vulkanischer Inseln aus der Ägäis. Auch das schöne Bild vom Stillstehen der Sonnenrosse infolge des vulkanischen Aschenregens liegt als Sinndeutung wohl nahe. Dass Attika und die Akropolis sich als Kalksedimente aus dem Meere hoben, symbolisiert der Mythos folgendermassen:

"Poseidon (der Meeresgott) schlug mit dem Dreizack auf den Felsen, auf dem später die Akropolis stehen sollte, und liess sogar da oben ein Meer, eine salzige Quelle entstehen."

Aus der obigen Mythe wie auch aus dem Bilde, dass Aphrodite auf einer Schildkröte ritt, ziehe ich den Schluss, dass die Mythendichter die schildförmige Aufwölbung der Erdrinde ahnten ("Geantiklinen").

"Als Poseidon zum Manne herangereift war, verliebte er sich in Halia und zeugte sechs Söhne ("Inseln"?) mit ihr und eine Tochter Rhodos, nach welcher auch die gleichnamige Insel heisst .... Poseidon liess seine Söhne ob der Schande, die sie der Mutter angetan, unter der Erde versinken."

Wenn der Mythos hier sechs "Söhne" des Meeresgottes Poseidon "versinken" lässt, so deute ich dies im Zusammenhang mit den bereits oben dargestellten Mythen als das Absinken des Untergrundes ("Geosynklinale"). Und Fossilienfunde auch auf der Insel Rhodos liessen die Hellenen erkennen, dass Rhodos sich aus dem Meere erhob ("vom Meeresgott Poseidon gezeugt" wurde).

Nun zusammenfassend einige Stichworte aus dem reichen Mythenschatz der Hellenen, welche des weiteren das Interesse und die Kenntnis der Hellenen von geologischen Dingen - und zwar bereits zur Zeit der Mythenentstehung im dritten und zweiten vorchristl. Jahrtausend- glaubhaft machen:

"Die Göttin Europa überquert auf dem Rücken des Gottes Zeus das Mittelmeer und gebiert den Kontinent, der ihren Namen "Europa" trägt."
"Die Insel Delos schwimmt auf dem Meer".
"Ägypten war ursprünglich vom Meer bedeckt und wurde erst allmählich vom Nil aufgeschwemmt."
"Zeus liess mächtige Regengüsse vom Himmel strömen und überschwemmte damit den grössten Teil Griechenlands. Damals geschah es auch, dass die Gebirge Thessaliens sich spalteten und das ganze Land bis zum Isthmos und dem Peloponnes ein einziger Wasserspiegel war. Die Gewässer einer Sintflut reichten damals bis zum Berg Apesas über der Strasse von Mykene nach Korinth."

Im letzteren Bericht von der "Deukalionischen Flut" sehe ich persönlich eine "Sintflut", wie sie fast in allen Mythen der Völker beschrieben wird. Ich neige zu der Auffassung, dass es sich hierbei um die ausgehende Eiszeit (Würm) handele, deren Schmelzwässer in solchen "Sintflut"-Mythen zu ungeheuren Überschwemmungen wurden.

"Als Hippolytos entlang der Küste des Saronischen Golfes mit seinen edlen Rossen nach Epidaurus und Argos fahren wollte, entstand ein Erdbeben und ein Beben des Meeres. Es erhob sich eine Woge, die den Isthmos verdeckte." s.o.

"Es lag eine kleine Insel im weiten Umkreis von Troja, in der Nähe von Lenos. Man nannte diese kleine Insel auch Nea, die "Neue", einem vulkanischen Eiland ziemend, welches leicht auch wieder verschwinden konnte, wie es von diesem Eiland schliesslich berichtet wird."

"Das Auftauchen der Persephone aus der Unterwelt war der Geburt der Aphrodite gleich, nur erhob sie sich aus der Erdentiefe, nicht wie Aphrodite aus dem Meere."

Die Hellenen der vorschristlichen Jahrtausende empfangen ihre geologischen Eindrücke aus ihrer damaligen Heimat, dem Dinarischen K a r s t, aber sie haben auch eine engere Beziehung zur endogenen Dynamik als nördlicher wohnende Erdbewohner. Sie spüren, je mehr sie nach Süden ziehen, dass die Erde bebt, dass sie unterirdisch in Bewegung ist - durch Erdbeben, durch vulkanische Ausbrüche. So bleibt der aufs engste mit der Natur verbundene Hellene empfänglich für die Wandlungen, für das ewig Neue der geologischen Vorgänge in und auf der Erde.

Hesiod berichtet in seiner mythischen Theogonie, dass der Himmelsgott Uranos mit der Erdgöttin "Kinder zeugte, die ihm von Anfang an verhasst waren, sodass er sie in der inneren Höhlung der Erde verbarg und sie nicht zum Licht hinauf liess" - "die riesige Göttin Gaia stöhnte und fühlte sich eng durch die innere Last". Nur wenn man geneigt ist, den Inhalt aller Mythen als Willkür zu betrachten, wird man die hier doch so nahe liegende Deutung ablehnen, welche lautet:

Mit diesen Kindern der Erdgöttin Gaia, welche Uranos nicht ans Licht herauf lässt, sind jene heute als "Subvulkane", Plutone, Batholithe und Lakkolithe" bezeichneten magmatischen und glutflüssigen Massen symbolisiert, von welchen die Hellenen, um wieder mit den Vorsokratikern und mit Strabo zu sprechen, dank ihres erstaunlichen Instinktes für geologische Vorgänge eine lebendige Vorstellung hatten und diese Ideenwelt darüber hinaus in so erstaunlicher künstlerischer und verständlicher Form zu umkleiden wussten!

Zum Abschluss dieser Betrachtungen über den Einfluss der Karstlandschaften auf die Ur-Mythen der Hellenen skizziere ich Ihnen, meine Zuhörer, meine Gedanken zur erdgeschichtlichen Einordnung der Götter-Generationen - auch wenn mir klar sein muss, dass diesen hier vor mir als erstem vorgetragenen Ideen nicht sogleich Folge geleistet werden kann.

Das "Chaos" der Ur-Mythen, den Gott Okeanos mit der Meermutter Tethys, der Erdgöttin Gaia, mit dem Gott Pontos, die Nachtgöttin Nyx und den Gott Eros ordne ich in das Archaikum (Azoikum) mit seiner ersten (Laurentischen) Gebirgsbildung ein. Die Herrschaft des o.a. Uranos mit seiner Gemahlin, der Erdgöttin Gaia ordne ich dem Paläozoikum mit seinen mehrfachen vulkanischen Gebirgsbildungen zu. "Seit der blutigen Tat des Kronos (siehe oben Seite 4) nähert sich der Himmel nicht mehr der Erde zu allnächtlicher Begattung." "Die Urzeugung nahm ihr Ende" (= der Vulkanismus mit seinen Erstarrungs- und Massengesteinen!). Diese Göttergenerationen des Kronos identifiziere ich mit dem Mesozoikum einschl. des Tertiärs als der geolog. Epoche geringeren Vulkanismus und den Früh- und Hauptphasen der alpiden Gebirgsbildung, der Bildung erster Sedimentgesteine und -Gebirge (Aphrodite) und wechselnder Meeresüberflutungen als Folge der Hebungen und des Absinkens von Kontinentalschollen.

Die für alle Mythen kennzeichnende Hervorhebung des Gottes Z e u s als des endgültigen Herrschers gibt mir Anlass, dessen Herrschaft vom Beginn des Quartärs bis zum Beginn der Mythen-Niederschrift (Hesiod, Homer) zu datieren, also von der Zeit an beginnen zu lassen, in welcher die vulkanische und alpide Gebirgsbildung aufhört und sich die Kontinente angenähert in ihrer heutigen Form abzeichnen. "Seine Herrschaft erlangte Zeus nicht nur durch den Sieg über die Titanen (= vulkanische Kräfte) sondern vielmehr durch Hochzeiten und Bündnisse mit Töchtern und Enkelinnen der Erdmutter Gaia." Darin sehe ich im Sinne der Mythen-Dichter das Symbol für die stabilisiert gedachte Gesteinsmaterie, bzw. einen stabil gewordenen oder verlangsamten Kreislauf der Gesteinsmaterie.

B III Höhle und Karst in ihrer Bedeutung für den geometrischen Stil der Hellenen

Hierzu muss ich mich aus Zeitnot kurz fassen und vermerke als Ergebnis umfangreicher eigener Arbeit hierüber lediglich Folgendes:
Dieses Bild (Dia) einer attischen Vase aus der Zeit des geometrischen Stils zeigt ihren geometrisch ornamentalen Schmuck, welcher auch in der Folgezeit mindestens als Umrahmung bildnerischer Darstellungen nie mehr verlassen wurde. Ob die Hellenen ihre Freude an geometrischen Formen bereits aus dem mittelgermanischen Raum mitbrachten, mag dahingestellt bleiben. Ich gebe hier meiner Überzeugung Ausdruck, dass H ö h l e und K a r s t im Dinarischen Raum mit ihrer überreichen Formenwelt, dass Kristalle und das Schneekristall, immer wieder betrachtet und erlebt, geeignet waren, die Freude an geometrischer Form zu wecken bzw. wieder zu erwecken. "Jedes Ding, wohl betrachtet, löst ein Organ in uns aus" - dieses treffende Wort von J. W. Goethe kennzeichnet den Weg der Hellenen vom Empfindungstrieb zum Formtrieb, von der Anschauung zum Gestaltungswillen, von der Natur-, der Urform bis zur ausgeführten Kunstform.

B IV Karstformen als Wurzeln des hellenischen Tempels

Auch zu diesem Punkt fasse ich das Ergebnis eigener Arbeit zusammen und bemerke ausdrücklich, dass meine Gedanken neu sind und von der Archäologie noch n i c h t anerkannt werden.
Walter Andrä erklärt in seiner Arbeit über die jonische Säule (1933), dass das Vorbild für die Kannelierung der jonischen wie dorischen Säule die "Rohrbündelsäule von Basra" sei und dass die an ihr entstehende konvexe Form von den Hellenen ins Konkave verkehrt worden sei. Dieser Auffassung zuzustimmen, sehe ich umso weniger Anlass, als der Anblick dieser Rohrbündel-Säule mich zu einer Ehrenrettung der Hellenen ermuntert: Wozu in die Ferne schweifen, wenn das Schöne, Gute und Natürliche so nahe liegt. Mehrere Geologen und Morphologen haben vorgeschlagen, die Karrenrille umzutaufen in

"Kannelierung"

Sie haben damit zwar n i c h t sagen wollen, dass sie die Karrenrille als das Vorbild, als die Naturform, die Urform der Kannelierung betrachten - aber sie hätten es m.E. getrost tun dürfen!

Ich bringe Ihnen dazu mehrere eigene Dias in Gegenüberstellung von "Kannelierungen" aus den Kalkalpen über den Dinarischen Karst bis zur Peloponnes, Attika und dem Parnass, nicht zuletzt auch jene 90 Meter senkrecht verlaufenden Karrenrillen der Sandsteine von Meteora in Thessalien. Die diesen Natur-Kannelierungen gegenüber gestellten Kanneluren der Dorischen und Jonischen Säule zeigt die absolut getreue Übereinstimmung der wesentlichen Merkmale der Urform und der Kuhstform: 1) die Karrenrillen haben stets segmentförmigen Querschnitt, wie ich das in zahlreichen Beispielen in homogenem Gestein feststellen, fotografieren und nachmessen konnte. Das Gleiche weist Prof. Friedrich Krauss, München, 1957 für die Kannelure seiner Arbeit über den Tempel von Olympia nach.
2) die Karrenrille verläuft stets senkrecht bzw. i.d. Fall-Linie der betr. Kalksteinplatten.
3) Die Karrenrillen sind nebeneinander gleich breit und stets durch scharfkantige Grate getrennt.
Ein Jahrtausend lang hatten die Hellenen die Karrenrille im Dinarischen Karst täglich vor Augen, in Hellas fanden sie die Karrenrille wieder. Ihr begeistertes Erlebnis dieser Urform legt es umso mehr nahe, den Hellenen das Aufgreifen dieser natürlichen Urform zuzumuten, als sie die strenge geometrisch-stereometrische Karrenrille als "von den Göttern" eingemeisselt halten mussten. Was von der Kannelierung der Tempelsäule gilt, gilt ebenso vom Entwurf des Tempels in seinen sämtlichen Grundmassen: Nirgendwo ist hier künstlerische Willkür festzustellen.

Dass und wie der griechische Tempel auf das Exakteste aus dem S e c h s e c k und seinen Proportionen, den Diagonalen des Sechssterns k o n s t r u i e r t worden ist - und zwar ein Jahrtausend lang - hat Pater Odilo W o l f f 1912 in seiner Arbeit "Tempelmasse" zwingend nachgewiesen. Dieses Werk steht in allen archäologischen und baugeschichtlichen Bibliotheken. Den Fachleuten ist est bekannt. Keiner hat bis zum heutigen Tage die Ergebnisse dieser Arbeit des hochverdienten Paters Odilo Wolff in Zweifel stellen können. Das Sechseck wird aus der Kreis-Geometrie entwickelt, so dass ich auch hier die These wage:

> Grössere Kreislinien fand der Hellene an den Rändern zylindrisch ausgestrudelter Dolinen. Jamas und Schlote. Auch hier hielt er die strenge Kreislinie, die reine Zylinderform als "von den Göttern" geschaffen - und suchte es den Göttern im Tempelbau gleich zu tun.

C Die Geomorphologie und der Gestaltungs- und Formwille; Überwindung von Vorurteilen. Ursache und Wirkung in der Physis wie in aller Kultur

Nach den unmittelbar vorher gemachten Darlegungen und gezeigten Dias begnüge ich mich auch hier mit einer abschliessenden Zusammenfassung:

> P e l a g i u s schreibt im 4. nachchristl. Jahrhundert in seinem berühmt gewordenen Brief an die 16-jährige Demetrias: "Denn Gott hat den Menschen, sein göttlichstes Werk, mit Vernunft begabt, damit er über die Elemente und über die Wesen herrsche, die ihm an Kraft überlegen sind, damit er die Materie bezwinge und das Gesicht der Erde umstürze und umgestalte durch sein Tätigsein".

Die Hellenen haben mit ihrer Kultur dies vorgelebt und der abendländischen Kultur in allem den Weg und die Richtung gewiesen. Als Begeisterte am Leben, als Natur-Liebende, als Erkenntnis-Suchende sahen s i e in allen Naturerscheinungen das Wirken des göttlichen Logos, und dessen Gesetzmässigkeiten geordnet nach Mass, Zahl und Gewicht. Spätere Zeit hat aus Vorurteilen die hellenische Götterwelt missverstanden. Den Hellenen waren ursprünglich alle Götter und Göttergenerationen Symbol für Naturerscheinungen. Sie zwangen daher niemanden, an diese Götter zu "glauben", sie muteten ihren Göttern keine "Offenbarung" zu. Dass und wie geographische, geologische und morphologische Dinge - wohl betrachtet - zur U r s a c h e des Denkens, Handelns und Gestaltens werden können, das hoffe ich mit meinen Ausführungen über jenen Bruchteil der Erdoberfläche "Höhle und Karst" dargelegt zu haben. Die Wirkung dieser Umwelteinflüsse liegt in der gesamten hellenischen Kultur offen zutage - nicht zuletzt in ihrem Tempelbau, ihrer Plastik, allen ihren schönen Künsten und ihrer Philosophie.

Gravures néolithiques sur l'Ile de Naxos (Cyclades)

A.J. PETROCHILOS (Athènes/Grèce)

Sur l'île de Naxos, où la civilisation cycladique a fleuri, des gravures rupestres néolithiques ont été découvertes en plein air sur des rochers fixes ou mobiles, dans des régions où la présence de villages et cimetières préhistoriques a été vérifiée.

En règle générale, les plus anciennes des gravures représentent des spirales, tantôt isolées et tantôt en groupes de deux, ou trois, reliées de lignes simples ou en zigzag. Le second cas se rencontre quand les spirales sont espacées les unes des autres. Elles ont été exécutées à coups d'un outil pointu (en pierre ou en métal), tantôt l'un à côté de l'autre, quelquefois par groupes distincts ou bien en fossettes profondes et espacées, mais toujours disposées en forme de spirale.

Les spirales taillées sur des rochers immobiles sont d'ordinaire dirigées vers l'est, mais quelques-unes sont gravées sur des surfaces horizontales.

Les régions où ont été trouvées des spirales taillées sur des rochers immobiles sont :
1) Vardaki de Khimarros, sur deux rochers inclinés de 45° sur l'horizontale, vers l'est. Dans la même région, sept petits rochers alignés ont été trouvés gravés de deux petites spirales chacun. Plus loin, entre les ruines d'un édifice construit probablement sur des fondations préhistoriques, on a découvert, en trois points, trois petits rochers gravés de doubles spirales (Fig.1).

(2) A Panermos (à l'est de Pyrgaki de Kamina), trois spirales inclinées vers l'est. La spirale centrale est plus grande que les deux autres (Fig.2).

(3) Près de la baie d'Ammodi (Liaridia), une spirale sur un rocher mobile.

(4) A Spedou, groupe de trois spirales, détérioré au point d'être à peine visible (Fig.3).

(5) Agios Athanassios d'Iraklia, une spirale.

(6) Agios Mamas d'Iraklia, une spirale de 50 cm. et sur un rocher voisin 5 fossettes. Le même groupe de 5 fossettes a été observé sur un rocher de Panermos et sur l'îlot Daskalio de Kéros.

(7) A Rakhidi de Kéros, deux spirales l'une tournée vers l'est et l'autre horizontale.

Des pierres mobiles gravées de spirales ont été découvertes dans les régions suivantes:

(8) A Panermos (village Vouda), sur une plaque presque ronde (68x65x8 cm) et brisée en divers endroits, une spirale est formée par une fossette centrale profonde et plusieurs (197) autres plus petites (Fig.4).

(9) A Agia Trias de Moutsouna, deux pierres, l'une 40x28x10 cm et l'autre 35x28x10 cm.
La première porte une spirale de chaque côté, la seconde d'un côté seulement.

(10) A Sténo (Liaridia), une plaque brisée avec deux spirales reliées d'une ligne en zigzag (Fig.5).
(11) Vilanou (région de Lii), une spirale sur une pierre de 53x48x8 cm.

(12) Psili Ammos (Kanaki), plusieurs groupes de fossettes formant spirale sur une pierre aplatie (47x40x10 cm).

(13) A Spedou, deux spirales taillées à petits coups et séparées de petites fossettes, sur une pierre cassée de 85x49x10 cm.

Dans les régions ci-dessus, on a découvert deux plaques gravées de figures diverses, La première au village de Stenou (13) (Liaridia) de 77x70x10 cm, porte deux spirales reliées d'une ligne en zigzag, des cercles, des fossettes et autres formes à peine visibles. Dans son ensemble elle rappelle le char du soleil (Fig.6).

La seconde à Driti (14) (77x70x10 cm), porte des idéogrammes suggérant trois inscriptions les unes au-dessus des autres. Vers le haut, une ellipse de 6x4,5 cm. Vers le bas et à gauche, une plante de pied grossière, un poisson avec au-dessus gravée la forme d'un a, un cercle avec deux lignes croisées et enfin une plante de pied mince. Ils ont été interprétés comme symbolisant des constellations dans l'ordre suivant : Le Sagittaire, Les Poissons, le Bélier, les Gémaux, la Vierge, L'ellipse représente le soleil. Les deux autres rangs représentent les constellations dans l'ordre : Les Poissons, le Verseau, le Capricorne, le Sagittaire, le Scorpion et la Balance, qui symbolisent les constellations à l'époque de la civilisation cycladique (Fig.7).

Une pierre ronde de 57x57x10 cm. a été trouvée à Agia Triada Moutsounas,(9) portant de chaque côté une spirale. L'une d'elles est formée de fossettes denses et minuscules, tandis que l'autre présente des fossettes de dimensions diverses. Sur les bords sont taillés des signes ressemblant à ceux de la plaque de Driti (Fig.8-9).

D'après cette constatation, toutes les spirales représentent le soleil aux diverses saisons : une grande spirale avec une petite formée de fossettes, c'est l'été, l'inverse c'est l'hiver et les spirales de dimensions moyennes représentent le printemps ou l'automne suivant leur orientation. Le nombre total de tours dans les deux spirales qui est toujours de douze, représente les douze mois de l'année (Fig.10).

Tout cela montre que les habitants préhistoriques de Naxos avaient des connaissances astronomiques il y a 6.000 ans.

En plus des représentations citées ci-dessus, on a découvert dans la région Athalasseu (15), gravées sur un rocher, plusieurs plantes de pieds humains par paires successives (Fig.11).

Les conclusions ci-dessus découlent des recherches, découvertes et études du professeur de mathématiques Michel Bardanis, membre de la S.S.H. (1)

Dans le même style, mais portant des représentations totalement différentes, dix plaques de marbre ont été découvertes incorporées dans un mur (Phot.1) contemporain sur la colline "Cerfi t'Areniou" (16) (alt.200 m.), située entre les baies de Panormes et de Klidou, au S-E de l'île (Phot.2). Les plaques sont de couleur grise ou blanche. Six d'entre elles ont été recueillies par le prof. M. Bardanis en 1961, deux par l'archéologue M-Chr. Doumas et deux autres par Mme A. Pétrochilos et M.J. Ioannou en 1962, dont la première après démolition d'une partie du mur. La seconde a été provisoirement laissée emmurée à cause de difficultés rencontrées relativement à la démolition du mur (2) (Phot.3).

Les plaques sont à peu près des mêmes dimensions (50x30 cm et grosses de 30 cm. environ) et sont considérées comme des matériaux de construction de la demeure d'un notable de quelque village préhistorique de la région.

Les incisions forment les scènes suivantes : 4 scènes pastorales, 3 scènes de chasse, 2 à flot et 1 scène de danse

Pastorales :

1) Trois hommes et une chèvre (découverte par A. Pétrochilos et J. Ioannou) (Phot.4).
2) Un homme et un cerf (Phot.5)
3) Un boeuf, une chèvre et un homme (Phot.5).
4) Un boeuf et un homme (Phot.6).

Toutes quatre présentent les hommes, comme les animaux, du même air calme.

De chasse :

1) Un homme et un animal, la gueule ouverte, et des lignes verticales sur le dos. Elles expriment probablement le poil hérissé de l'animal.
2) Le même animal apparaît sur une autre pierre, entre deux hommes. Le premier semble le blesser par derrière. Le deuxième tient une massue dans chacune de ses mains levées, probablement prêt à faire face à une attaque de l'animal.
(3) Un homme tirant un animal par la queue, l'animal s'efforçant visiblement à se libérer. (Découverte par A. Pétrochilos et J. Ioannou (Phot. 9 et 3).

A flot :

1) Une femme et un homme dans une embarcation (Phot.10).
2) Un animal dans une barque et un homme sur le point de monter dans l'embarcation (Phot.11).

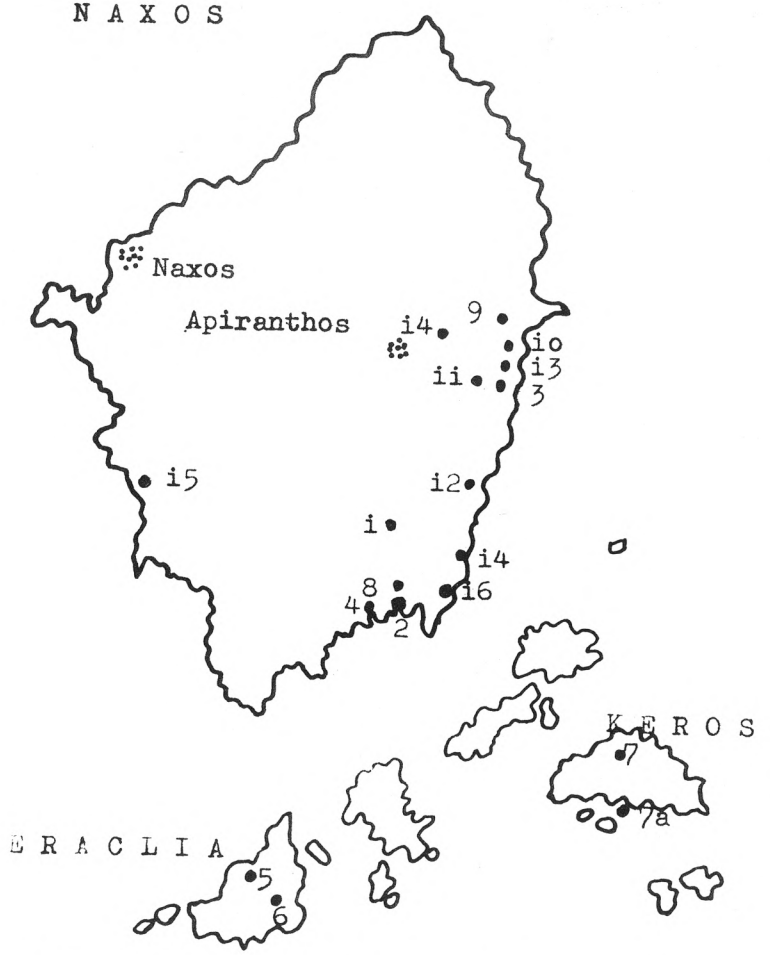
De Danse :

1) Trois hommes dansant. Cette scène rappelle une danse grecque contemporaine (Phot.12).

L'étude des plaques citées ci-dessus a été entreprise par les archéologues MM. Chr. Doumas (3) et G. Korres (6), qui les attribuent à l'époque protocycladique (3000-2500 ans av. J.-C.).

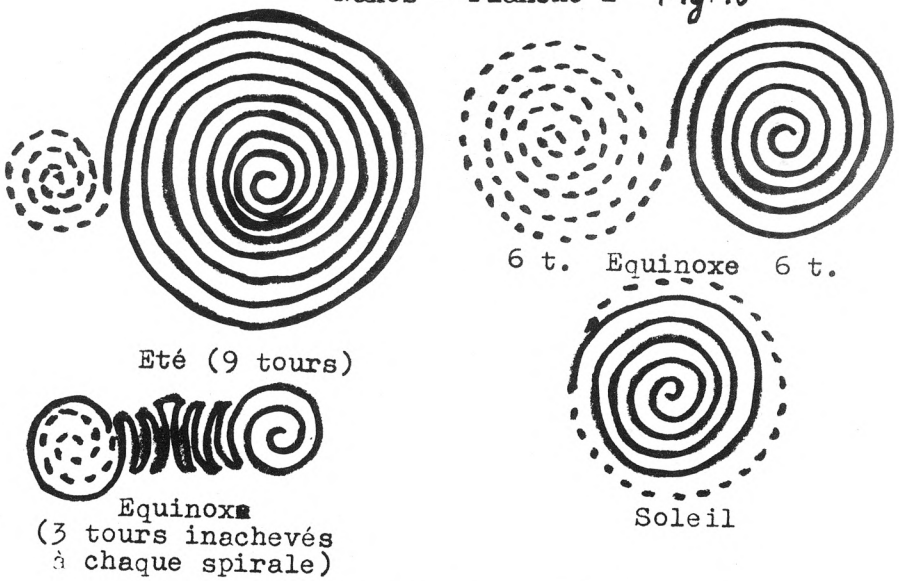
Très peu de recherches ont été effectuées tant dans la région "Cerfi t'Areniou" que dans l'île de Naxos entière. Il est certain que des recherches systématiques doivent révéler d'autres vestiges de la très ancienne civilisation cycladique.

Toutes les plaques gravées mobiles qui ont été découvertes à Naxos ont été déposées au Musée d'Apiranthos, à Naxos par les soins de M.M. Bardanis.



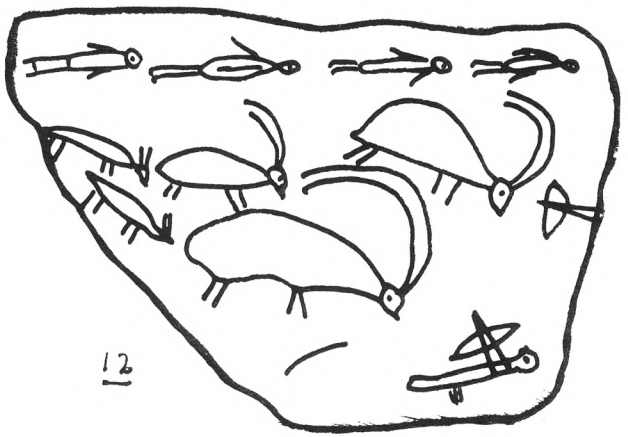
I)Chimaros 2)Panormos 3)Amodi 4)Spédou 5)Agios Athanassios 6)Agios Mamas 7)Rachidi 7a)Dascalio 8)Vouda 9)Agia Trias Moutsouna 10)Liaridia II)Vilanou I2)Psili Amos I3)Sténou I4)Driti I5)Athalasou I6)Corfi t' Aroniou.

Naxos - Planche 2 Fig. 10



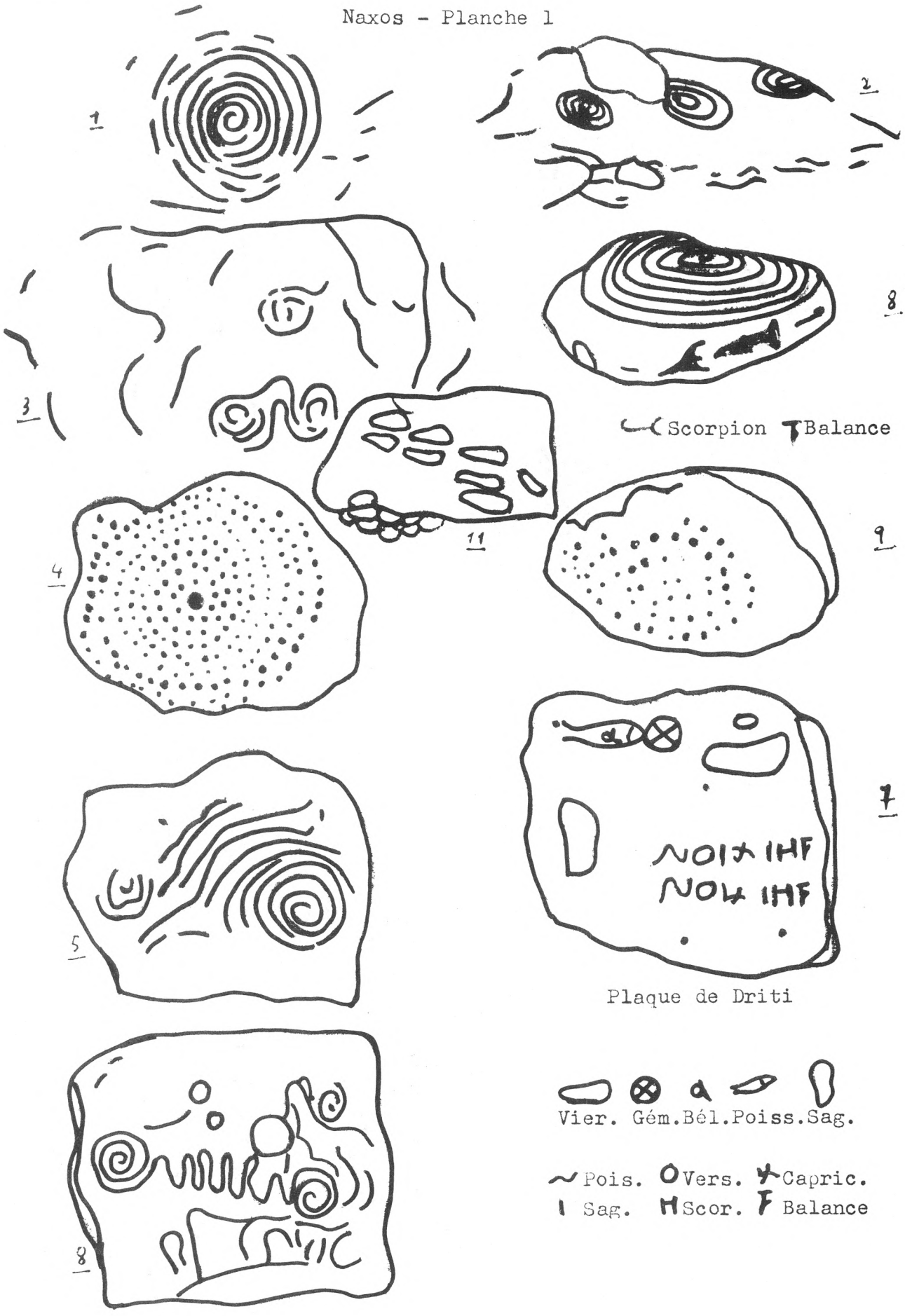
Différentes spirales représentant le soleil aux diverses saisons.

Crète Planche 4



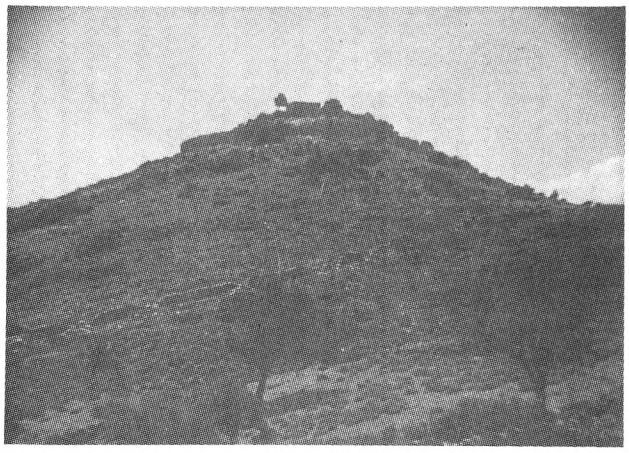
H 8/3

Naxos - Planche 1



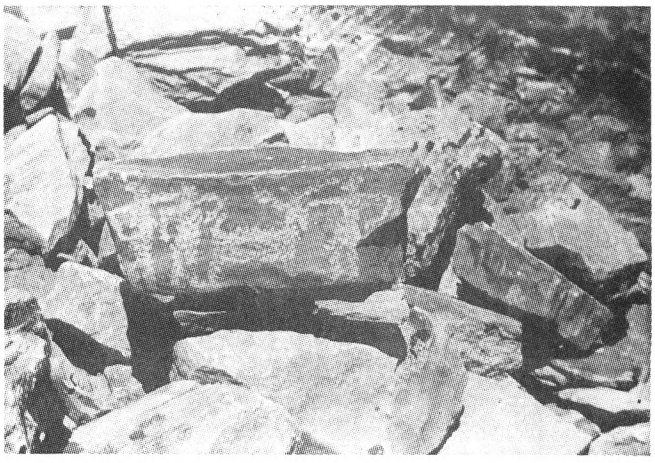
NAXOS Colline "Corfi t'Aroniou"

Fot. 1

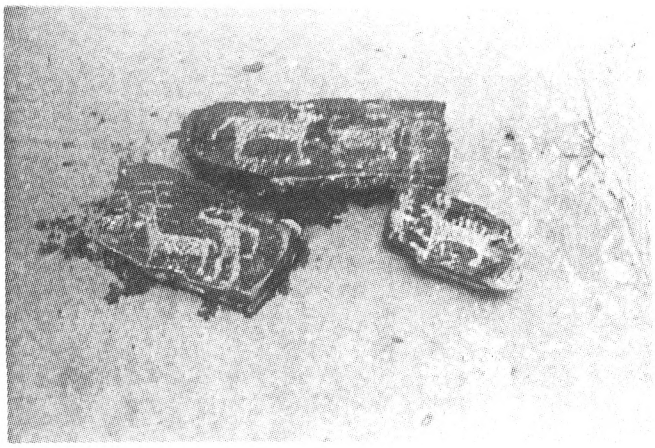


Fot. 2

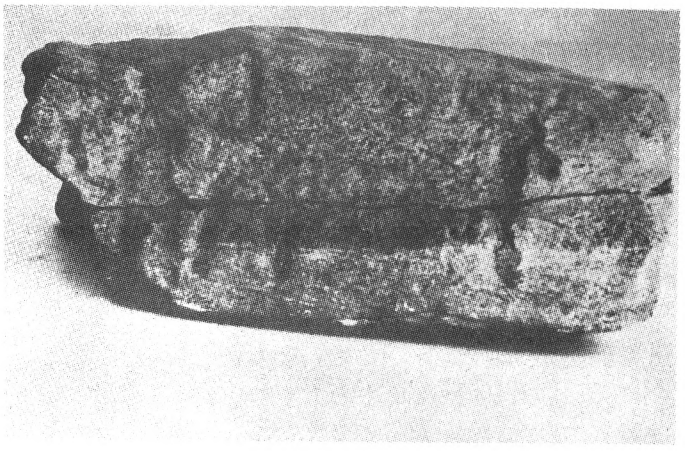
Fot. 3



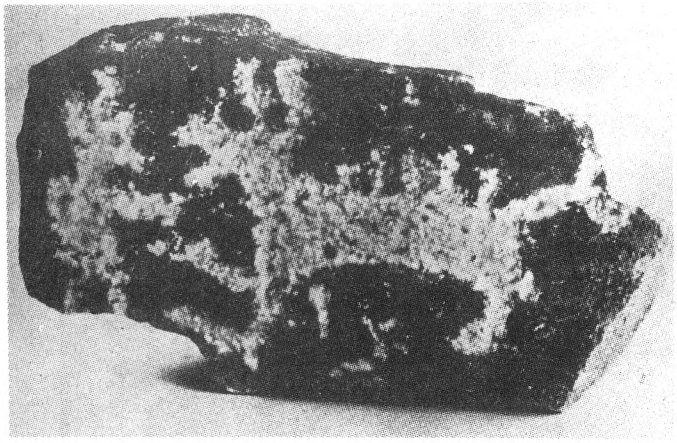
Fot. 4



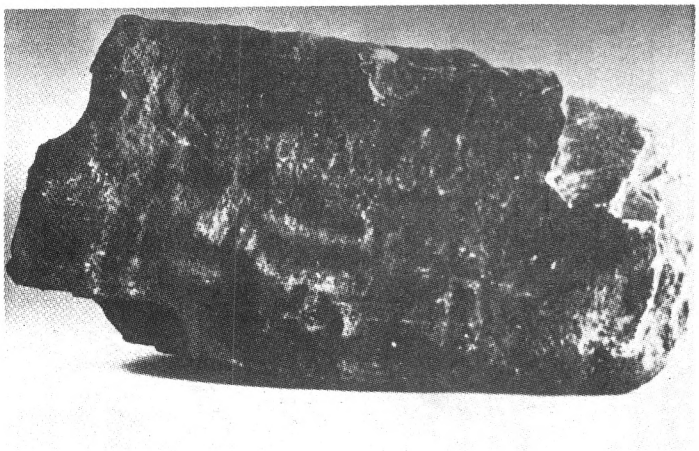
Fot. 5



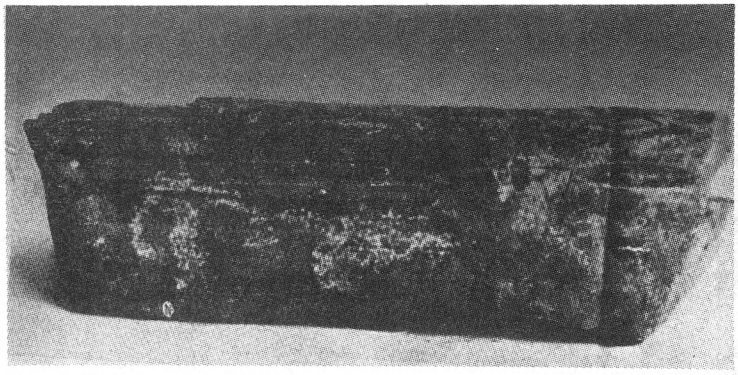
Fot. 6



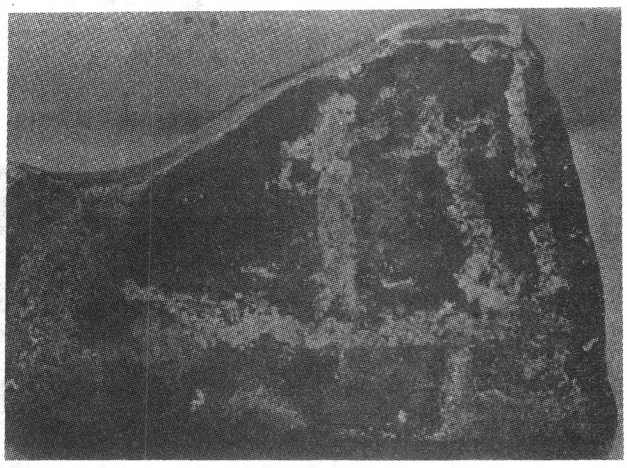
Fot. 7



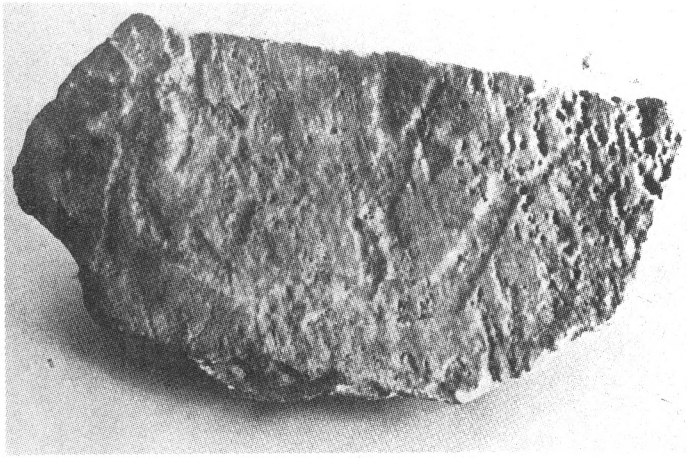
Fot. 8



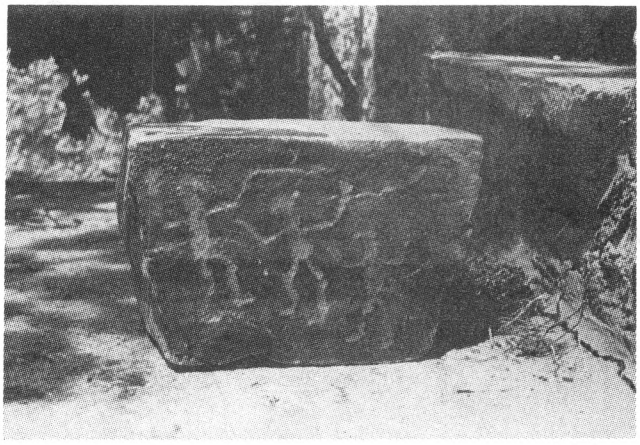
Fot. 9



Fot. 10

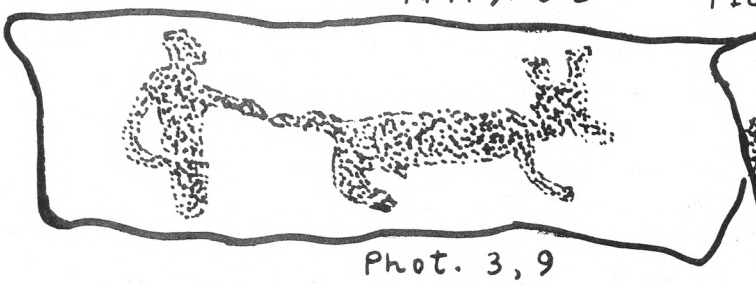


Fot. 11

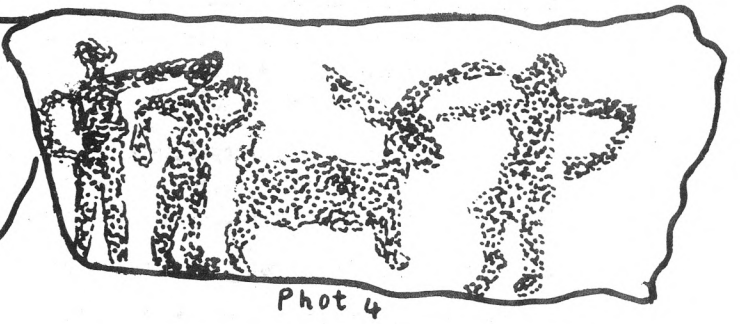


Fot. 12

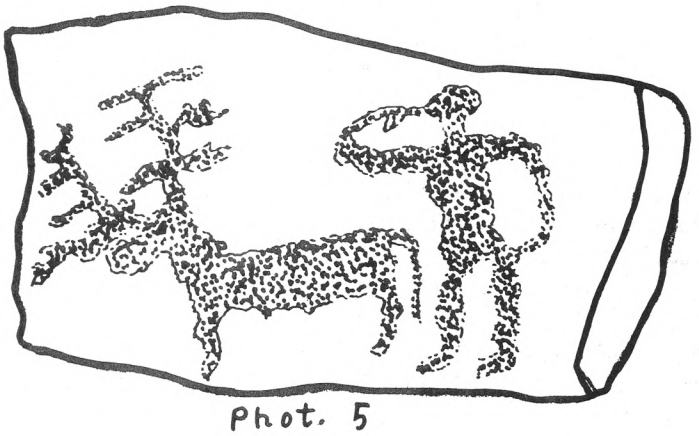
NAXOS Planche 3



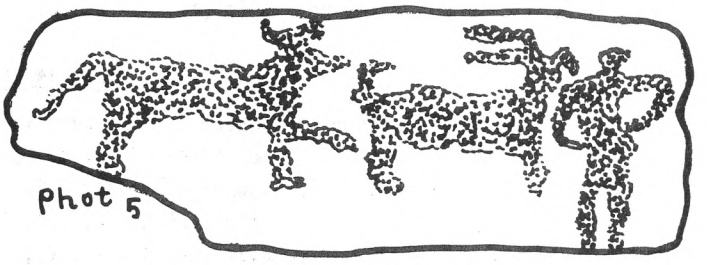
Phot. 3, 9



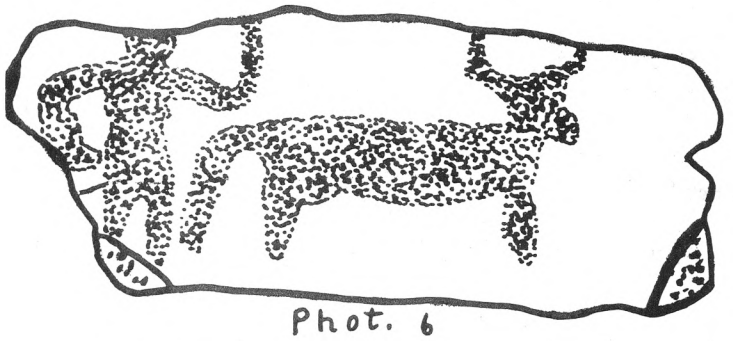
Phot 4



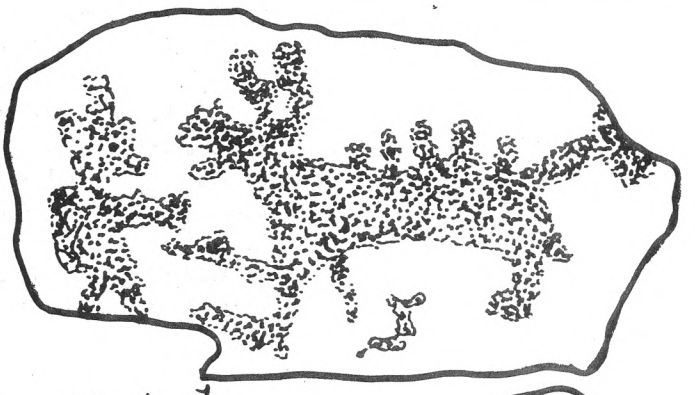
Phot. 5



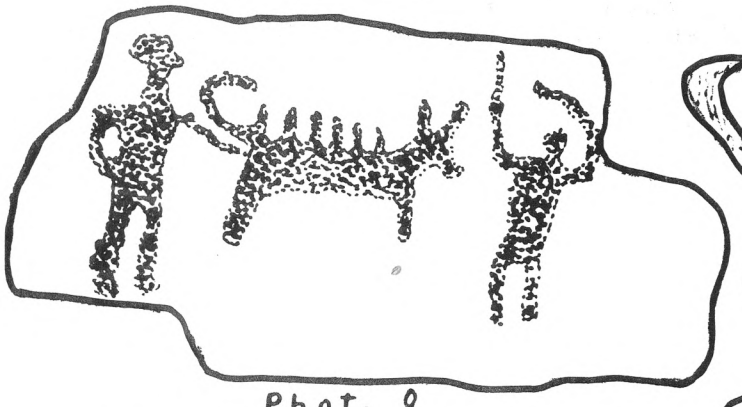
Phot 5



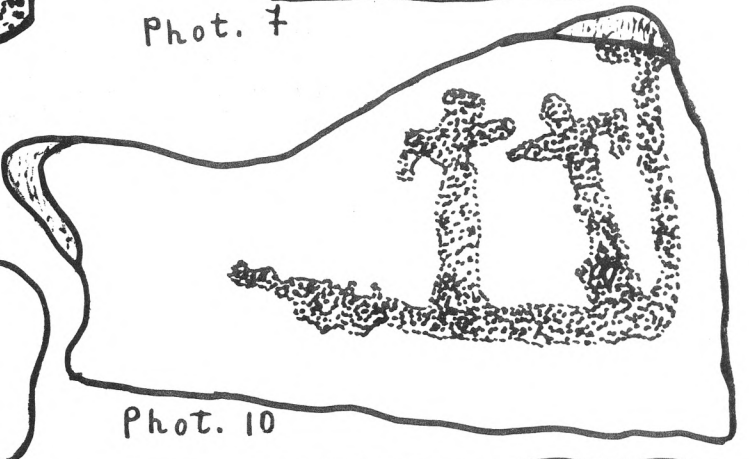
Phot. 6



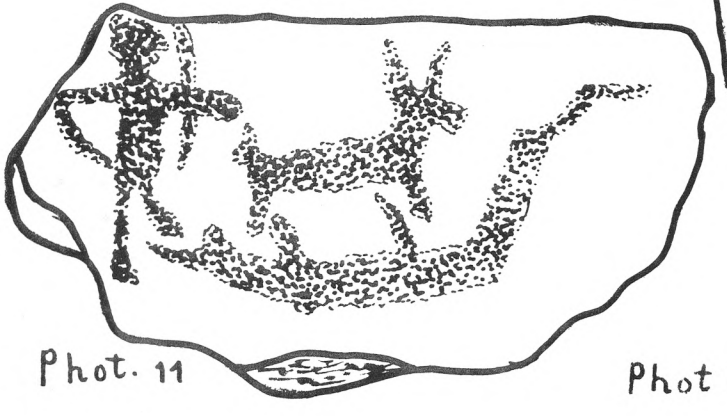
Phot. 7



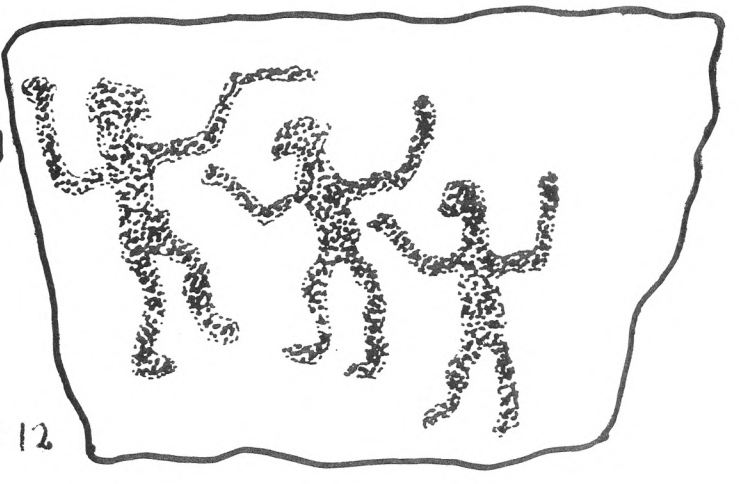
Phot. 8



Phot. 10



Phot. 11



Phot 12

Plaques gravées à Drére (Crête)

En plus des plaques de Naxos, deux plaques gravées de scènes pastorales ont été découvertes entre autres en 1932 36, au cours de fouilles entreprises par les professeurs P. Demargne, Sp. Marinatos et H . Effenterre, à Drères, ancienne cité de la Crête situé entre les villages Fournis et Nicopolis Miramvelou (Lassithi).

La plus grande des plaques représente, sur les deux côtés, un troupeau d'animaux, probablement des cri-cri (chèvres sauvages de la Crète), avec des bergers et des archers embusqués. L'autre représente les mêmes animaux sur l'une des surfaces seulement, sans autres représentations (Fig.12).

Les plaques en question sont attribuées par les spécialistes à une époque plus récente (7e-6e siècle av.J.-C.).

Les gravures rupestres découvertes tant à Naxos qu'en Crète présentent une similitude surprenante de style avec celles découvertes en Italie (Monte Bego, Valkamonica), en Suède, en Russie, en Afrique (Sahara, Haute Egypte)etc

Bibliographie

1) Michel Bardanis : Données sur les connaissances astronomiques des hommes préhistoriques (Bulletin N°7 de la Bibliothèque Nicolas N. Glezos, tome II, 1966-67).
2) A. Pétrochilos - J. Ioannou : Bulletin de la S.S.H. tome 6, fasc.7-8, p. 43, 1962.
3) Chr. Doumas : Bulletin Arch. 18, 1963 (1965), Partie B - 2, Chronique, p. 276.
4) Chr. Doumas : Bulletin Archéol., 20, 1965, Etudes A.
5) Chr. Doumas : Le incisioni rupestri di Nasso, nelle Cicladi, B.C.S.P. III, 1967.
6) G.St.Corrés : Sur la détermination de l'âge des plaques de marbre découvertes à Corfi t'Aroniou" de Naxos, Chronique archéologique 1965.
7) Sp. Marinatos : B.C.H. 60, Le temple géométrique de Drères. Les pierres à graffites (pp. 278-280).
8) Prof. Demargne : B.C.H. 1937.
9) Gius P. Isetti : Rivista di studi Liguri, 25 N. 1-2 1959.
Osservazioni su alcune differenze tra la incisioni di Val Meraviglie et Nal Fontanabla, p. 111-129.
10) Man. Sis : Gravures sur les rochers de Valkamonica.
11) H. Kühn : Die vorgeschichtliche Kunst Deutschlands (Propyläen), Berlin 1935,p. 72-106.
12) H. Kühn : Die Felsbilder, p. 299.
13) H.G. Bandi, H. Lothe : Die Steinzeit, Vierzigtausend Jahre Felsbilder, Baden-Baden 1962, en Wadi-Djerat (Tassili).
14) P. Huardt-D. Lapatinsky : Bull. de la Soci. Préhist. française 59, fas. 9-10, 1962 (1963). Gravures rupestres de Guena et de Bardai (ver. Tibesti), pp. 226-635.
15) P. Huardt -J. M. Massif : 60 f. 78, 1963 (1964), Gravures rupestres du Tibesti méridional et du Borkou, p. 468 suiv.

Las pinturas rupestres de Ojo Guareña, Burgos

JOSE LUIS de URIBARRI ANGULO (Burgos/España)

Summary

Prehistoric Cave Drawings in "Ojo Guareña", BURGOS, Spain.

This complex karst of "OJO GUAREÑA" is placed in the northern part of the province of Burgos : 43°02' N, 0°01' W.

The object of the author is to make known the discovery of the paintings, engravings, sculptures and bare foot-prints found in these caves, which form altogether probably the most complete assembly in the world.

The chronology of these works is provisionally catalogated within the periods : Auriñacienne, Magdalenien and the Bronze age. But it is probable that more periods exist.

The representations of a prehistoric art already discovered show fundamental differences with those found in OJO GUAREÑA, therefore the author proposes a new term : OJO GUAREÑENSE.

Might be said that this new art OJO GUAREÑENSE could be the result of a union in Castilla between Levantine and French Cantabrique art.

The thousands of bare foot-prints found in one of the galleries in OJO GUAREÑA are perfectly conserved and because they are situated near a chamber containing ingravings that are typically "Auriñacien", the auther puts forward his Hypothesis that they probably belong to the same period.

In the "Chamber of Paintings" the estrate is rich in carbon and in one of the basins in the rock wall the base of the artist prehistoric palet has been found, deep enough to contain adequate material for a precise calculation of the age of these drawings.

Howener, at the time of meeting such analysis has not been made.

Zusammenfassung :

Vorgeschichtliche Kunst in "OJO GUAREÑA" (Burgos / Spanien).

Der Karstkomplex OJO GUAREÑA befindet sich im Norden der Provinz Burgos, südlich der Kantabrischen Gebirgskette,auf den Koordinaten 43°02' n, 0°01' W.

In dieser Mitteilung wird über di Entdeckung von Malereien, Gravuren und Fuss-Spuren in dem genannten Komplex behandelt.
Er ist einer des grössten Karstkomplexe in der Welt (ca. 36,5 Km^2). Seine Erforschung ist noch nicht abgeschlossen.

Obwohl das Studium der Chronologie noch nicht beendet ist, können wir mit Sicherheit Aurignacien, Magdalénien und Bronzezeit (neben anderen noch nicht bestimmten Perioden) registrieren.

Die künstlerischen Darstellungen bilden eine der vollständigsten Sammlungen und sehr wahrscheinlich die ursprünglichste der bisher entdeckten. Gewisse fundamentale Unterschiede zu den bekannten vorgeschichtlichen künstlerische Darstellungen geben Anlass, einen neuen Terminus zu verwenden : OJO GUAREÑENSE. Es wird auf di Möglichkeit hingewiesen, dass der OJO GUAREÑENSE des Ergebnis der Vereinigung der Kunst der Ostküste mit der Kantabrisch-französischen Kunst ist.

Die Tausende von Fuss-Spuren in sehr gutem Erhaltungszustand und in der Nähe eines Saals, in dem typische Aurignaciengravuren vorkommen, lassen den Autor vermuten, dass die Spuren zu dieser Periode gehören.

Die Sedimente im Malereiensaal sind reich an Kohle. Ausserdem wurden Farbstoffe in einer Höhlung gefunden, die darum die "Palette des vorgeschichtlichen Mannes" genannt wurde. So steht reichliches und geeignetes Material zur Ausführung radioaktiver Analysen zur Verfügung, mit welchen diese Malereien genau datiert werden können. Diese Analysen sind zur Zeit des Kongresses noch nicht ausgeführt worden, weshalb eine definitive Chronologie noch nicht angegeben werden kann.

Resumen :

El compleje kárstico de OJO GUAREÑA se encuentra al norte de la provincia de Burgos, al Sur de la cordillera en las coordenadas 43°02 N 0°01 W.

El objeto de la comunicación es poner en conocimiento del hallazgo de pinturas, grabados, esculturas y huellas de pies descalzos en dicho complejo, uno de los mayores del mundo con una topografía de 36,5 Kms. sin finalizar la exploración.

Si bien la cronología está aun pendiente de estudios, podemos catalogar con seguridad: Auriñaciense, Magdaleniense y Edad del Bronce, aparte de otros períodos aún sin definir.

Las representaciones artísticas forman uno de los conjuntos más completos del mundo, y es seguramente el más original de los aparecidos hasta la fecha.

Ciertas diferencias fundamentales sobre el arte prehistórico conocido dan base a la necesidad de utilizar un nueve término : " EL OJO GUAREÑENSE " Se apunta la posibilidad de que el OJO GUAREÑENSE sera el resultado de la unión en la meseta castellana del Arte Levantino y el Franco Cantábrico.

Los miles de huellas de pies descalzos, en perfectísimo estado de conservación y próxima a una sala en la que aparecen grabados tipicamente auriñacienses, sugieren al autor la posibilidad de que las huellas pertenezcan a dicho período.

La estratigrafía de la Sala de las Pinturas, rica en carbón, así como el hallazgo de la masa de la pintura en un hueco de la roca, a la que se podría denominar "paleta del pintor prehistórico", proporcionan material muy abundante y sobradamente suficiente para realizar análisis radioactivos que fechen exactamente dichas pinturas. En el momento del Congreso dichos análisis aún no se han realizado por lo que no se establece la cronología definitiva.

Aparición de pinturas rupestres en el complejo de "OJO GUAREÑA" Burgos (España).

Preámbulo : Ante la imposibilidad de presentar la totalidad de hallazgos arqueológicos realizados en OJO GUAREÑA provincia de Burgos España, la presente comunicación se ciñe exclusivamente a las pinturas rupestres aparecidas en el año 1968.

Situación geográfica del complejo kárstico de OJO GUAREÑA.

El complejo se encuentra en el norte de España, en la provincia de Burgos, al sur de la cordillera cantábrica, partido judicial de Villarcayo y sus coordenadas son 43°02' latitud Norte y 0°01' longitud Oeste.

Descripción del complejo "OJO GAREÑA".

Entre las localidades de Cueva de Sotoscueva, Villamartín y Horillayuso queda ubicada la red de galerías que forman el complejo. El desarrollo de la caverna es de un recorrido topografiado de 34.000 metros estando su exploración en unos 40.000 metros. Sus entradas son : Ojo Guareña, San Tirso y San Barnabé, Kaite, Kubía, Palomera, Dolencias, Covaneira, Sima de los Huesos, Cueva de Cornejo, Torca, Torquilla y Torcona, Cueva de Villamartín, Cueva del Prado.

Arqueológicamente tienen interés las entradas de : Kubiá, Palomera, Kaite, Sima de los Huesos.

La estratigrafía inmediata al complejo tiene la dominante E-W y paralelas a la Galería Principal del Complejo. Al norte del complejo justamente en Medina de Pomar debemos señalar el contacto entre el infracretácico y el cenomanense; ya en el valle de Cueva de Sotoscueva el contacto entre este último y el turonense inferior, ligeramente al sur y situado en la pérdida del Guareña encontramos el contacto entre turonense inferior y superior.

Siempre al sur y situandonos en la entrada de Palomera y Dolencias, se halla el contacto entre el turonense superior y el conaciense.

Localización topográfica de la Sala de las pinturas.

Para estudiar la "Sala de las Pinturas" debe escogerse la entrada de Palomera por ser esta entrada el acceso más cómodo y cercano. Se halla esta entrada en una dolina de unos 800 m^2 inclinada a favor de los estratos N-S. Aquí se hallan tres refugios en los que el Servicio de Investigaciones Espaleologicas de la Diputación de Burgos ha encontrado fragmentos de cerámica principalmente Bronce, al lado de los mismos está la entrada de Palomera, sus dimensiones son 40 mtrs. ancho 6 metros alto, la galería desciende en plano inclinado, elevándose el techo, y acortándose en cambio la anchura, hasta encontrar a los 80 mtrs. un muro dotado de reja metálica realizada por la Diputación de Burgos, para proteger la caverna.

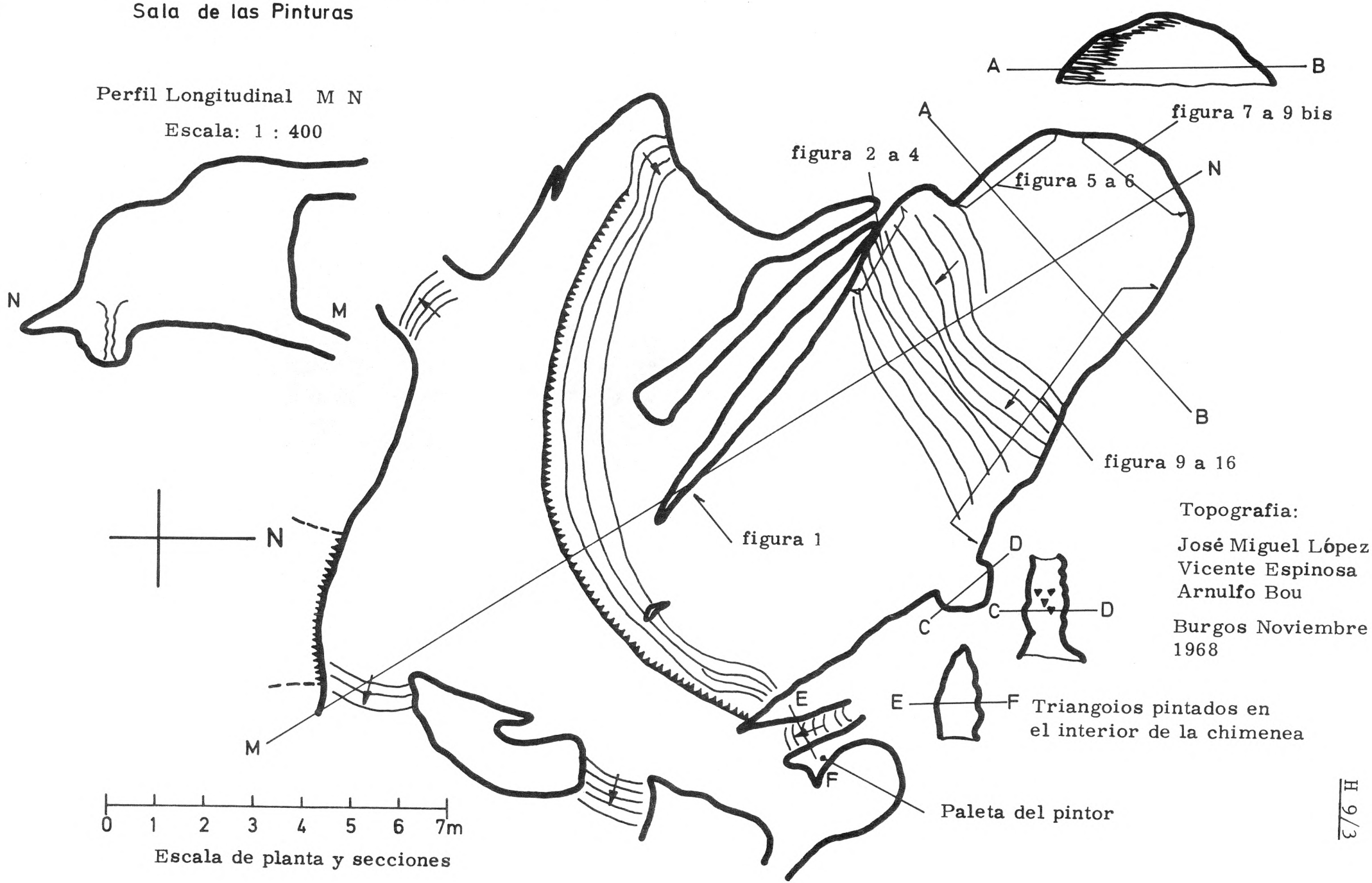
Pasada la verja, se encuentran encharcamientos, siguiendo el descenso hasta enlazar con la Galería Principal, atravesando esta se encuentra la Sala de Cartón en la que aparecen numerosos grabados rupestres realizados la mayoría con los dedos, " macarronis ", siguiendo su pared derecha y remontando una colada estalagmítica encontramos la "SALA DE LAS PINTURAS".

Sus dimensiones son de unos 13 mtrs. por 7 mtrs. la altura de unos 12 mtrs., en el fondo de esta sala y a en su pared derecha se dan con mayor profusión las pinturas.

A su entrada y antes de descender el talud, en su parte derecha apparece en una huella de erosión la masa con la que se efectuaban las pinturas. Analizada esta masa de pintura sus resultados son :

Complejo Karstico de Ojo Guareña

Sala de las Pinturas

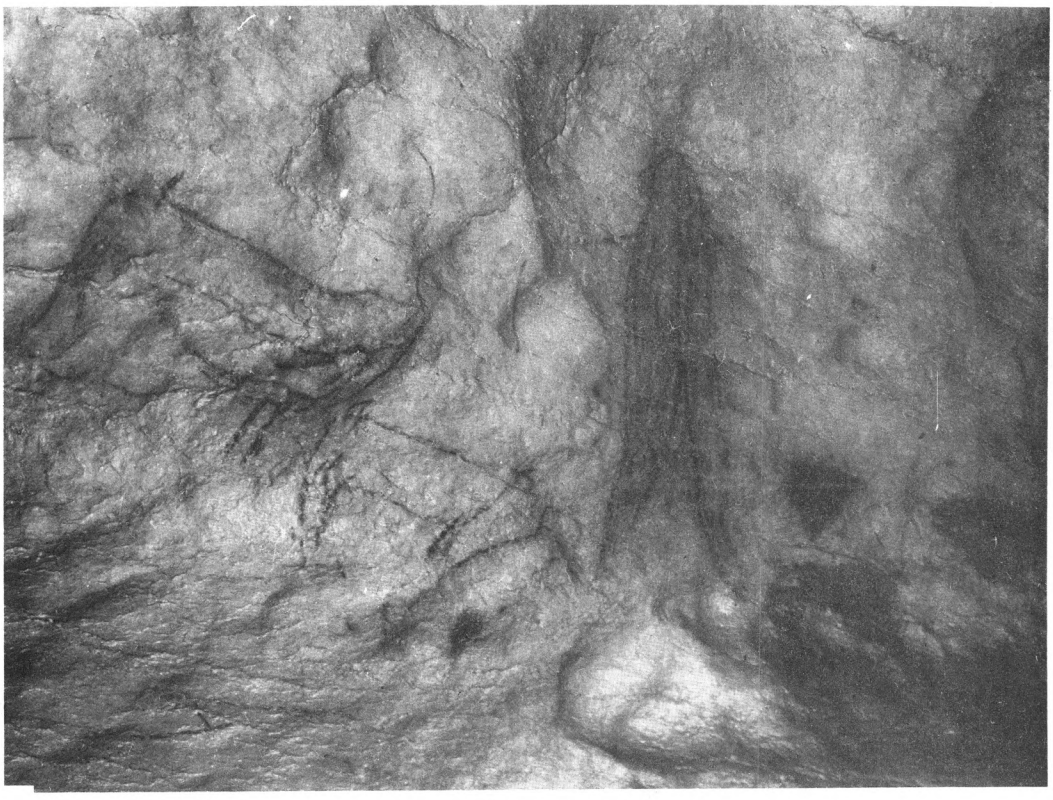


Topografia:

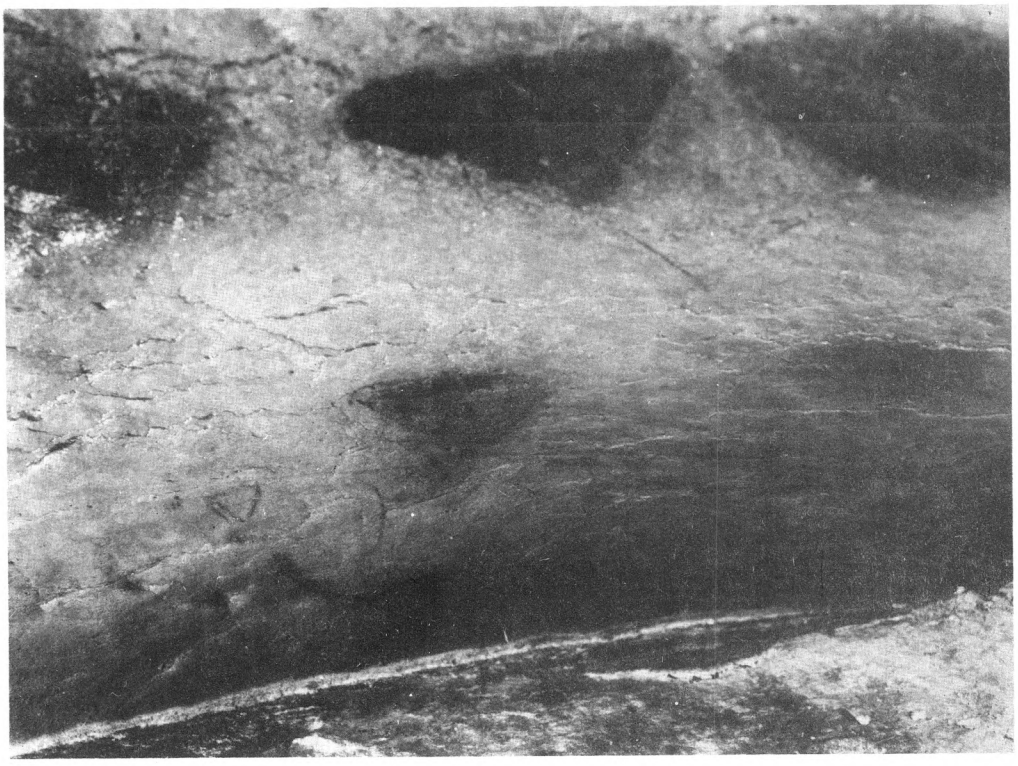
José Miguel López
Vicente Espinosa
Arnulfo Bou

Burgos Noviembre
1968

H 9/3



Figuras 13, 14 y 15



Triangulos y figura 6 (abajo)

Figura 5

Figura 12

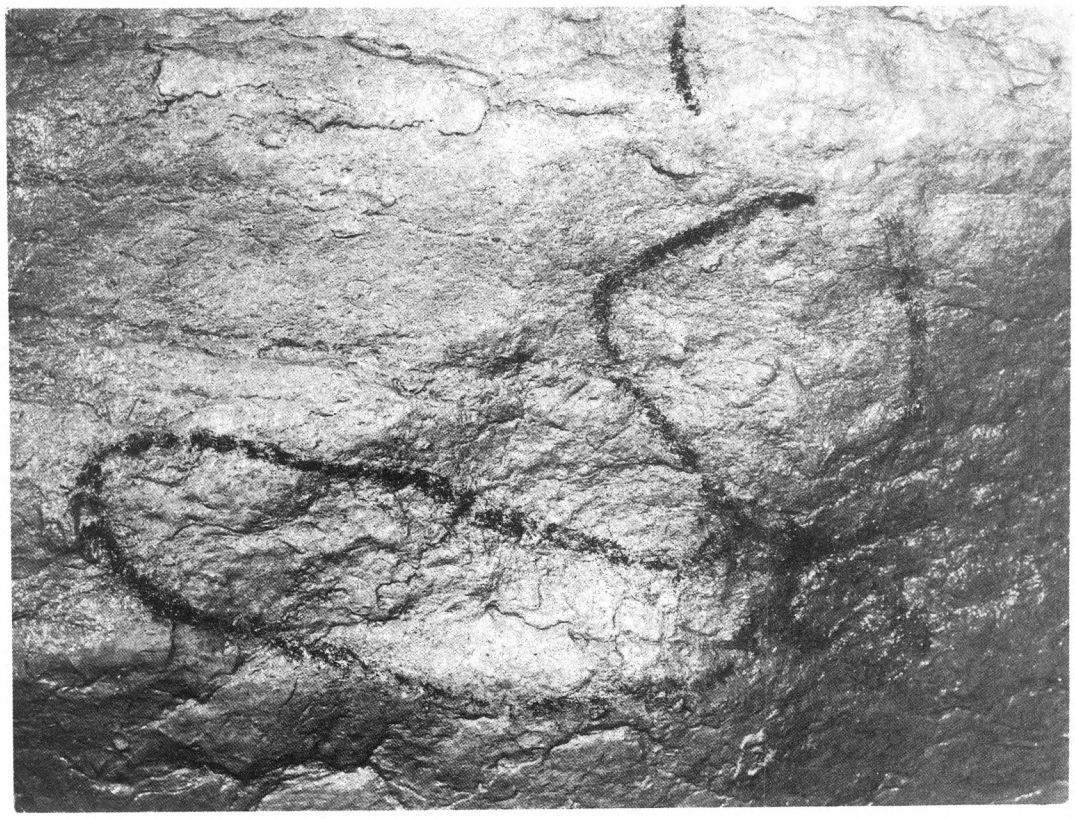
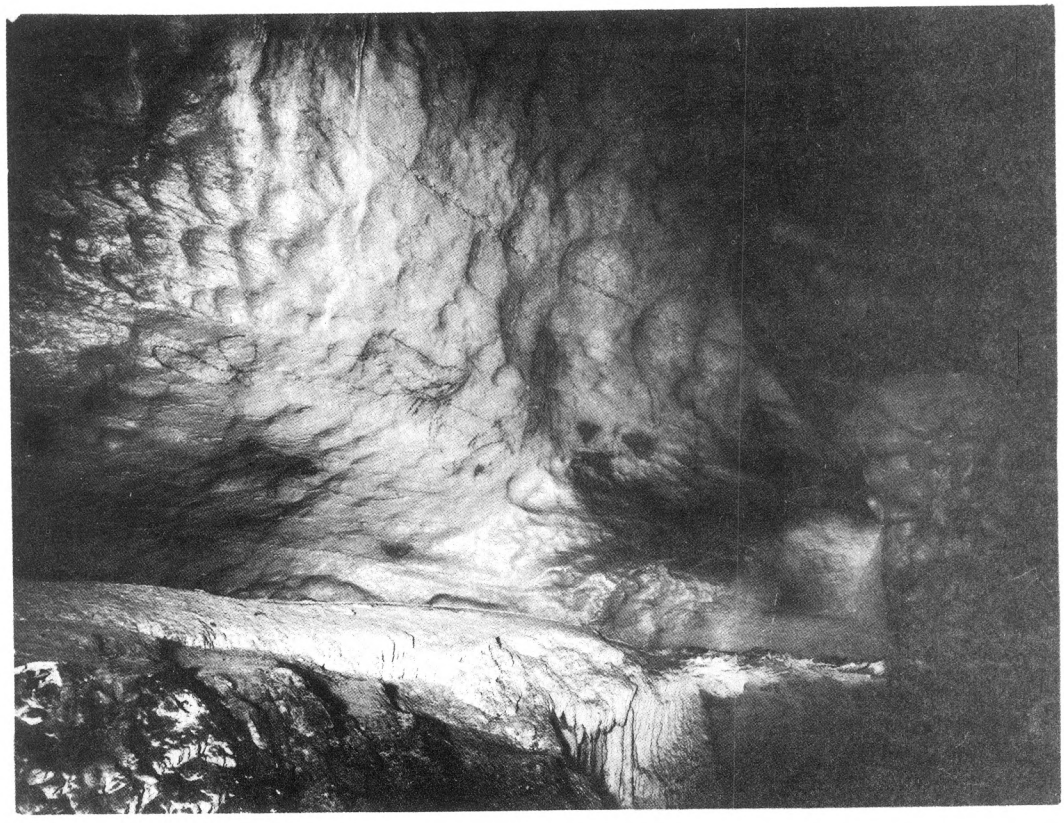


Figura 11



Panel derecho figuras 11 al 16

Humedad	8,20%
Grasa	3,58%
Cenizas	30,00%
Calcio	18,30%
Insoluble	14,51%
Manganeso	indicios
Carbón	51,20%

Descripción de las pinturas.

Las pinturas están realizadas todas ellas en negro, la mayoría realizado sólo el perfil, su altura es sobre el suelo primitivo de 50 cms. a 1 mtr. de altura. La ejecución es "dextrorsum" es decir ejecutada de izquierda a derechera todas la cabezas de animales se encuentran a la derecha del cuerpo.

Las representaciones son aisladas en general ya que el caballo encabritado puede estar relacionado con otras figuras.

1.- Representación de venado.

Mide 88 cms. de longitud y 53 cms. de alto. Se trata de un cervido, su contorno está realizado con trazo sencillo y muy seguro, el interior del cuerpo rayado aunque la pintura ligeramente desvanecida, su vientre sugiere la possibilidad que se trate de un animal grávido, la cabeza muy pequeña será una constante en las representaciones de animales de esta Sala, por o desaparecer o encontrarse minimizada de ella sale en este caso una poderosa y bella cormamenta.

Fig. 2 - Mancha negra amorfa.

De unos 35 cms. de longitud 28 cms. de ancho su contorno no permite definir de que se trata, Su forma recuerda la de la tortuga o sugiere un escutiforme, hemos preferido denominarla amorfa.

Fig. 3 - Mamífero con cría.

Mide 2,4 mtrs.de largo, y 1,30 alto, se trata de un bóvido en cuyo interior aparece una figura igual que podría tratarse de la cría. El contorno está relizado con trazos negros aprovechando la morfología de la pared.

Fig. 4 - Figura femenina ? esquemática.

A la altura del pecho de la fig. 3 nos aparece una figura muy dudosa que puede tratarse de un animal ligeramente esbozado o una figura femenina esquemática muy paracida a las de la Cueva de la Roche (Dordogne).

Fig. 5 - Caballo Alargado y estilizado.

Mide 103,50 de largo y 42,5 cms. de alto. Se trata de un équido excesivamente alargado y estrecho en relación con las restantes proporciones del cuerpo. El contorno se halla realizado por trazo negro y seguro, también aprovecha la forma de erosión que justamente coincide con el vientre del mismo.

La cabeza se halla también minimizada y el artista no ha prestado gran interés a las patas del animal. El conjunto resulta muy agradable.

Fig. 6 - Animal parcialmente oculto.

Resulta interesantísima esta figura de 54 cms. de largo y 13 cms. de alto que se halla enterrada en gran parte y recubierta de recristalización estalagmítica. El día que se excave y se ponga al descubierto se podra saber de que animal se trata en principio recuerda una figura de fabalí.
La pintura está efectuada con exactitud sorprendente,y su cuerpo totalmente relleno por pintura negra.

Figura 6 bis Serie de triángulos .

Miden aproximadamente 20 cms. de largo y 15 cms. de alto. Podrían se representaciones sexuales femeninas.

Fig. 7 - Mamuth.

Mide 18 cms. ancho y 12 cms. de alto - Al igual que la figura 6 está también parcialmente oculta pero reconocible. Cabeza ojo y trompa están claramente visibles. Realizada en trazos negros,

Fig. 8 - Serie de puntos.

Figuran varios puntos cuya interpretación desconocemos.

Fig. 9 - Figura cazador.

27 cms. alto y 8 cms. ancho es una figura muy dudosa que hemos denominado de cazador.

Fig.9bis- Figura filiforme.

27 cms. alto y 8 ancho. Podría considerarse como figura humana estilizada, cerca de la misma aparecen serpentiformes.

Fig. 10 - Caballo acéfalo.

59 cms. ancho, 15 cms. alto- La pintura se halla parcialmente diluida.

Fig. 11 - Reno.

41 cms. largo 15 cms. alto. trazos gruesos y firmes, se trata de un cérvido que recuerda mucho al reno, carece de patas.

Fig. 12 - Caballo negro.

Mide 56 cms. longitud 28 cms. alto. Contorno con trazos firmes y gruesos , interior relleno con pintura plana. Posiblemente, tirando del cordel se vislumbra una figura humana, aunque también se puede tratar de una figura superpuesta incompleta.

Fig. 13 - Dos cérvidos.

Mide 75 cms. largo 58 cms. alto el uno, el otro 41 cms. largo 20 cms. alto. Trazo firme y seguro, contorno negro sin relleno.

Fig. 14 - Brujo.

Los espeleologos hemos bautizado a esta figura como brujo si bien puede tratarse de una fálico femenino. Mide 80 cms. alto y 38 cms. ancho. Hasta su mitad es fusiforme más abajo la figura se abre simulando dos piernas.

Fig. 15 - Dos cápridos.

Se trata de dos cabras muy estilizadas con la cabeza minimizada, cuerpo relleno de pintura negra.

Fig. 16 - Perfil humano ? .

Mide 31 cms. alto 12 cms. ancho. Es una figura similar a la anterior que recuerda un brujo recubierto de ramas.

Conclusión.

Es practicamente seguro que nos encontramos ante un santuario paleolítico, dotado de una forma de arte muy original que nos presenta variantes de conceptos sobre el arte prehistórico existente. La aparición sistemática de triángulos, las cabezas que o faltan o son minimizadas y el sentido dextrorsum de ejecusión, la ausencia de patas o la falta de interés por las mismas son a nuestro juicio las constantes más importantes del conjunto. La excavación del suelo puede poner más figuras al descubierto. La existencia de restos importantes de pinturas y la existencia de varios estratos en los que aparece carbón permitirán, aparte de los datos que se obtengan del análisis granulométrico, el empleo de carbono radioactivo para fechar exactamente la cronología de este conjunto artístico.

Pendientes de estos análisis hemos omitido premeditadamente dar nuestra opinión sobre la época a que corresponden, permitiéndonos sin embargo poner un énfasis especial en el hecho que las circunstancias señaladas permiten fechar exactamente la antiguedad de este conjunto prehistórico.

La grotta preistorica di Capriles nel supramonte di Orgosolo (Sardegna-Centro-Orientale)

L.BENTINI -P.P.BIONDI - + L. DONINI (Faenza/Italia)

La grotta preistorica di Capriles è stata oggetto di studi e ricerche da parte del Gruppo Speleologico Faentino C.A.I.-E.N.A.L., dell'Unione Speleologica Bolognese e del Centro Speleologico Sardo nel corso delle spedizioni svolte dal 1965 al 1968 nella Sardegna centro-orientale.

Il piccolo vano iniziale era da tempo noto ai pastori delle località vicine ed in esso si rifugiavano sovente due noti banditi orgolesi (uno dei quali di nome Tandeddu); questi ultimi, intorno al 1950, notando una stretta apertura nella parete opposta all'ingresso, vi si introdussero pervenendo in una grande caverna nella quale trovarono un laghetto di limpida acqua. L'insperata scoperta, che permetteva una lunga sopravvivenza in quella zona assolutamente priva all'esterno del preziose liquido, indusse i due banditi a conservare per lungo tempo il segreto; infine però ne vennero a conoscenza anche alcuni pastori di Orgosolo e di Urzulei, che tuttora si riforniscono d'acqua nella grotta e dai quali vennero fornite le notizie per la sua individuazione.

La cavità, le cui coordinate geografiche sono F.108 IV SO (Monte Oddeu), Lat. 40° 10' 29 ", Long. 2° 58' 35" W M. Mario, si apre in comune di Orgosolo (Nuoro) a q. 700 nei calcari grigiastri del Malm superiore che sono quivi i termini più elevati della serie mesozoica - sovrapposta ai calcari marnosi bianco-verdastri, anch'essi del Giurassico superiore - costituente la sinclinale a fondo piatto posta a SW della gola di Gorropu, recentemente studiata da G. Chabrier (1).

In prossimità della grotta ed all'interno della stessa gli strati, spessi in media 30 cm, hanno direzione N 55° W, immersione a NE, pendenza 25°.

L'apertura, semimascosta da secolari lecci, è posta verso la sommità della scoscesa e dirupata riva destra del rio Titione, che confluisce nel rio Flumineddu poco prima della grandiosa e selvaggia gola di Gorropu.

Quest'ultima e le valli del Flumineddu, del Titione, della cadula Orbisi, nonchè altri minori e meno profondi solchi di erosione, sono impostate su direttrici tettoniche orientate prevalentemente N -S e NW - SE, che hanno dislocato e piegato l'altipiano costituito essenzialmente da rocce carbonatiche, depositatesi nel Mesozoico e poggianti sopra graniti e scisti paleozoici, esteso, in corrispondenza del Golfo di Orosei, da Sud a Nord per circa 35 Km e da Est a Ovest per circa 20 (2).

In corrispondenza dell'ingresso della grotta, alto m 7 e largo 2 (tav. 1- Punto A ril.) vi sono due camini ellittici e si ha poi una saletta il cui asse è diretto da SSE a NNW, alta in media m 2,50 e larga m 4x3, adorna di concrezioni in via di degradazione. Il pavimento è constituito da un conglomerato ben cementato, di colore rossastro, con ciottoli calcarei di piccole e medie dimensioni a spigoli vivi, il cui spessore visibile è di circa 50 cm.

Sembrerebbe che non esistesse alcuna prosecuzione, ma arrampicandosi sulla colata stalagmitica della parete di fondo, si perviene ad una stretta cunicolo, posto a circa m 3,50 dal livello della cavernetta; percorrendolo carponi, dopo pochi metri si raggiunge l'orifizio di un pozzetto circolare che scende quasi perpendicolarmente per m 4 (punto B ril.). Il diametro è di soli m 0,60 e si può scendere agevolmente sfruttando appigli forniti da alcune tazze stalagmiti, alcune delle quali, specie all'imboccatura, recano i segni di fratture non accidentali, sebbene siano attualmente smussate e levigate per l'uso.

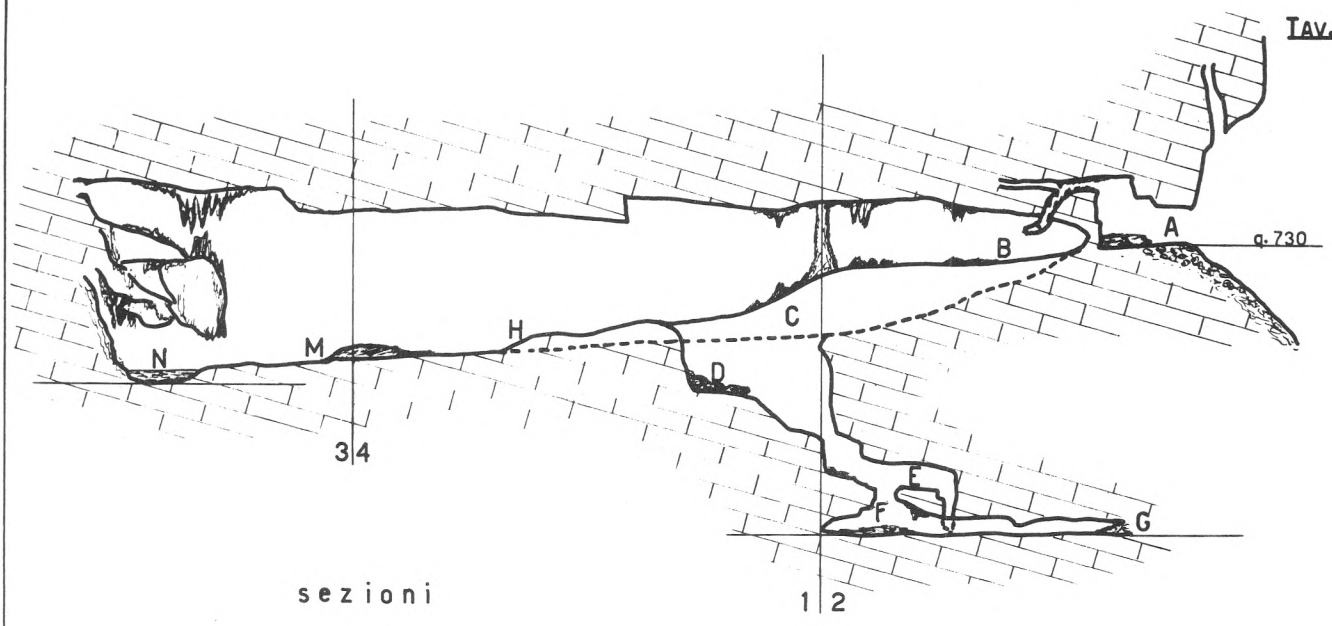
Il budello è annerito in ogni sua parte da fuliggine e conduce in una vasta sala adorna di concrezioni, fra le quali spiccano grosse colonne stalatto-stalagmitiche che si innalzano fino al soffitto, posto a circa 5 m dal punto più basso del cavernone (punto C ril.),ed impiantate lungo un ripidissimo scivolo reso viscido dall'acqua di percolazione (sez. trasv. 1-2 ril.).

La colorazione predominante delle concrezioni è un giallo-arancio, ma anche su esse si hanno quasi dovunque tracce di nerofumo, come d'altronde nei punti ove le pareti sono spoglie.

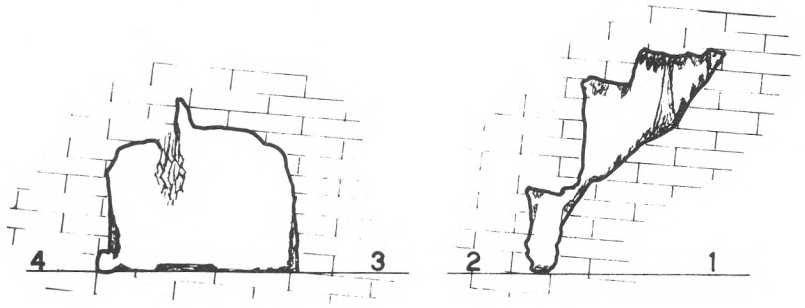
Il salone è lungo 45 metri ed il suo asse mediano è orientato da Nord a Sud; la sua ampiezza media si aggira sugli 8-9 m e nella prima parte si può percorrere agevolmente costeggiando in alto la parete Est della grotta,

H 10/2

TAV. 1



sezioni

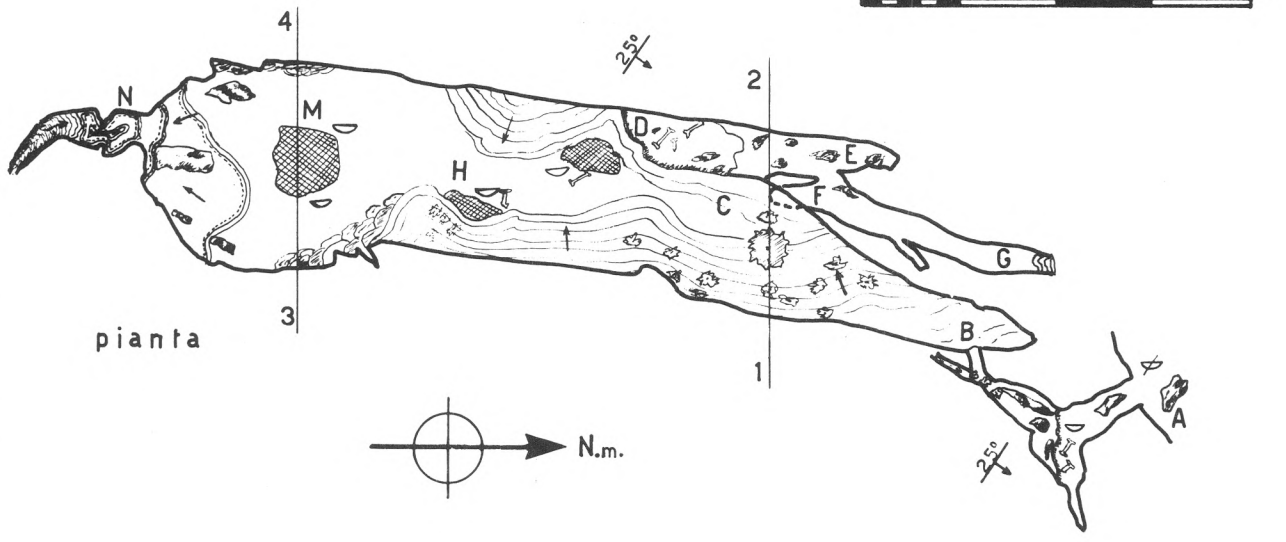


GROTTA DI CAPRILES

ORGOSOLO NU.

ril. del 12 ag. 1965

0 5 10 20 m



pianta

La grotta preistorica di Capriles nel supramonte di Orgosolo (Sardegna-Centro-Orientale)

L.BENTINI -P.P.BIONDI - † L. DONINI (Faenza/Italia)

La grotta preistorica di Capriles è stata oggetto di studi e ricerche da parte del Gruppo Speleologico Faentino C.A.I.-E.N.A.L., dell'Unione Speleologica Bolognese e del Centro Speleologico Sardo nel corso delle spedizioni svolte dal 1965 al 1968 nella Sardegna centro-orientale.

Il piccolo vano iniziale era da tempo noto ai pastori delle località vicine ed in esso si rifugiavano sovente due noti banditi orgolesi (uno dei quali di nome Tandeddu); questi ultimi, intorno al 1950, notando una stretta apertura nella parete opposta all'ingresso, vi si introdussero pervenendo in una grande caverna nella quale trovarono un laghetto di limpida acqua. L'insperata scoperta, che permetteva una lunga sopravvivenza in quella zona assolutamente priva all'esterno del prezioso liquido, indusse i due banditi a conservare per lungo tempo il segreto; infine però ne vennero a conoscenza anche alcuni pastori di Orgosolo e di Urzulei, che tuttora si riforniscono d'acqua nella grotta e dai quali vennero fornite le notizie per la sua individuazione.

La cavità, le cui coordinate geografiche sono F.108 IV SO (Monte Oddeu), Lat. 40° 10' 29 ", Long. 2° 58' 35" W M. Mario, si apre in comune di Orgosolo (Nuoro) a q. 700 nei calcari grigiastri del Malm superiore che sono quivi i termini più elevati della serie mesozoica - sovrapposta ai calcari marnosi bianco-verdastri, anch'essi del Giurassico superiore - costituente la sinclinale a fondo piatto posta a SW della gola di Gorropu, recentemente studiata da G. Chabrier (1).

In prossimità della grotta ed all'interno della stessa gli strati, spessi in media 30 cm, hanno direzione N 55° W, immersione a NE, pendenza 25°.

L'apertura, seminascosta da secolari lecci, è posta verso la sommità della scoscesa e dirupata riva destra del rio Titione, che confluisce nel rio Flumineddu poco prima della grandiosa e selvaggia gola di Gorropu.

Quest'ultima e le valli del Flumineddu, del Titione, della cadula Orbisi, nonchè altri minori e meno profondi solchi di erosione, sono impostate su direttrici tettoniche orientate prevalentemente N -S e NW - SE, che hanno dislocato e piegato l'altipiano costituito essenzialmente da rocce carbonatiche, depositatesi nel Mesozoico e poggianti sopra graniti e scisti paleozoici, esteso, in corrispondenza del Golfo di Orosei, da Sud a Nord per circa 35 Km e da Est a Ovest per circa 20 (2).

In corrispondenza dell'ingresso della grotta, alto m 7 e largo 2 (tav. 1- Punto A ril.) vi sono due camini ellittici e si ha poi una saletta il cui asse è diretto da SSE a NNW, alta in media m 2,50 e larga m 4x3, adorna di concrezioni in via di degradazione. Il pavimento è constituito da un conglomerato ben cementato, di colore rossastro, con ciottoli calcarei di piccole e medie dimensioni a spigoli vivi, il cui spessore visibile è di circa 50 cm.

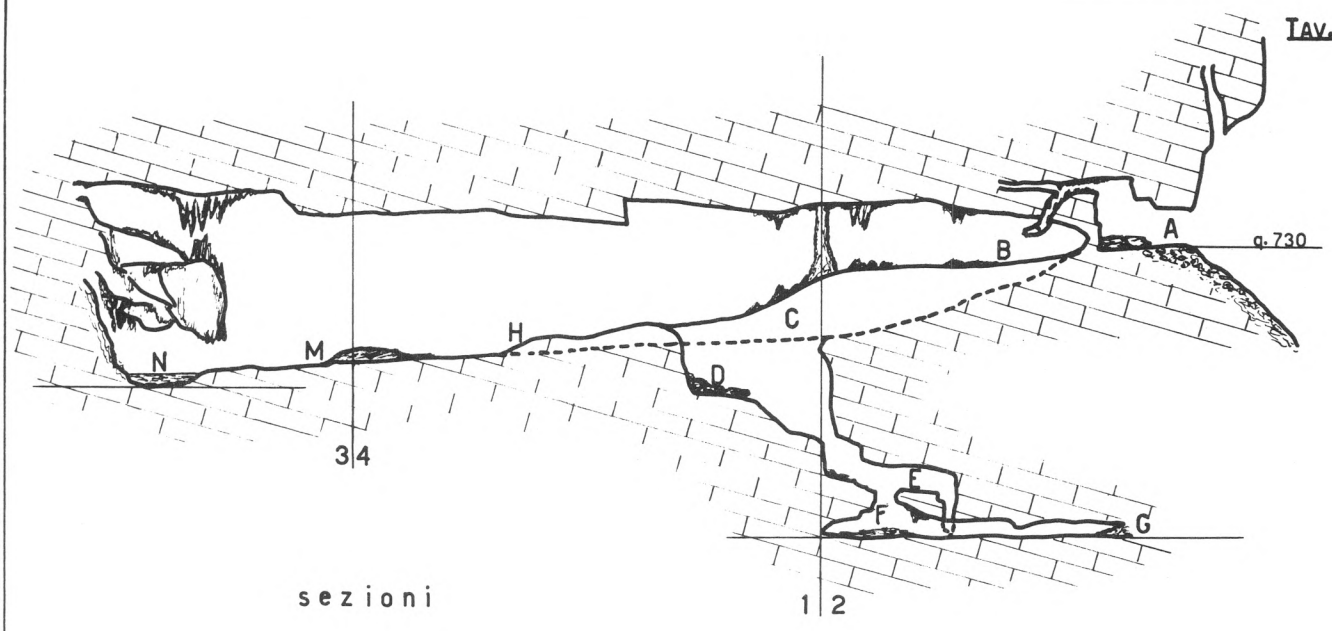
Sembrerebbe che non esistesse alcuna prosecuzione, ma arrampicandosi sulla colata stalagmitica della parete di fondo, si perviene ad una stretta cunicolo, posto a circa m 3,50 dal livello della cavernetta; percorrendolo carponi, dopo pochi metri si raggiunge l'orifizio di un pozzetto circolare che scende quasi perpendicolarmente per m 4 (punto B ril.). Il diametro è di soli m 0,60 e si può scendere agevolmente sfruttando appigli forniti da alcune tazze stalagmiti, alcune delle quali, specie all'imboccatura, recano i segni di fratture non accidentali, sebbene siano attualmente smussate e levigate per l'uso.

Il budello è annerito in ogni sua parte da fuliggine e conduce in una vasta sala adorna di concrezioni, fra le quali spiccano grosse colonne stalatto-stalagmitiche che si innalzano fino al soffitto, posto a circa 5 m dal punto più basso del cavernone (punto C ril.),ed impiantate lungo un ripidissimo scivolo reso viscido dall'acqua di percolazione (sez. trasv. 1-2 ril.).

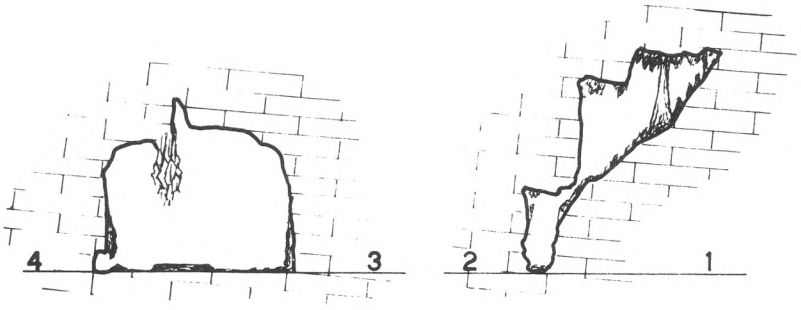
La colorazione predominante delle concrezioni è un giallo-arancio, ma anche su esse si hanno quasi dovunque tracce di nerofumo, come d'altronde nei punti ove le pareti sono spoglie.

Il salone è lungo 45 metri ed il suo asse mediano è orientato da Nord a Sud; la sua ampiezza media si aggira sugli 8-9 m e nella prima parte si può percorrere agevolmente costeggiando in alto la parete Est della grotta,

TAV. 1



sezioni

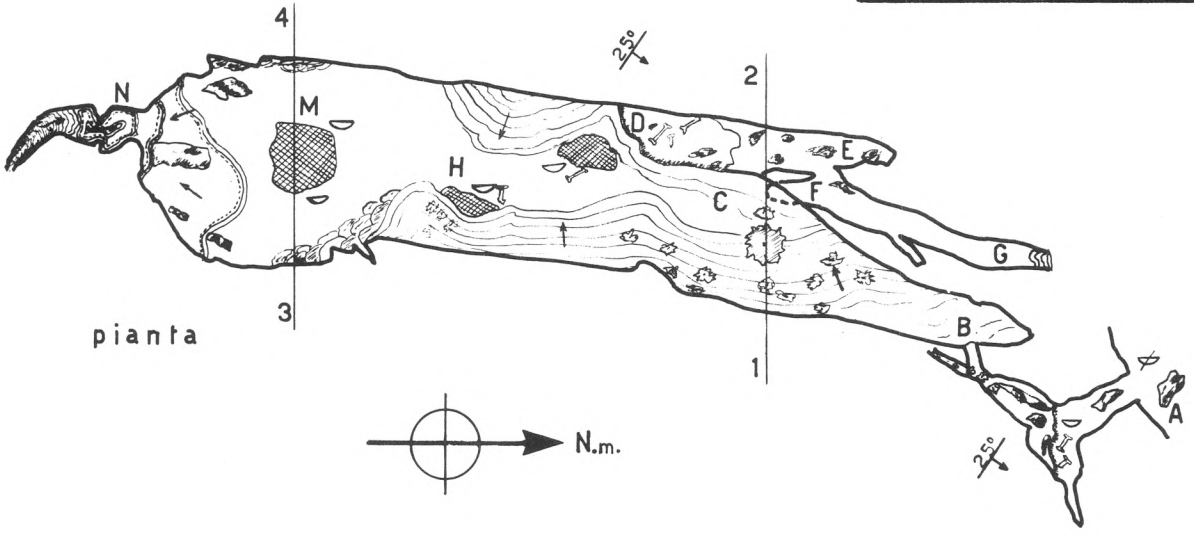


GROTTA DI CAPRILES

ORGOSOLO NU.

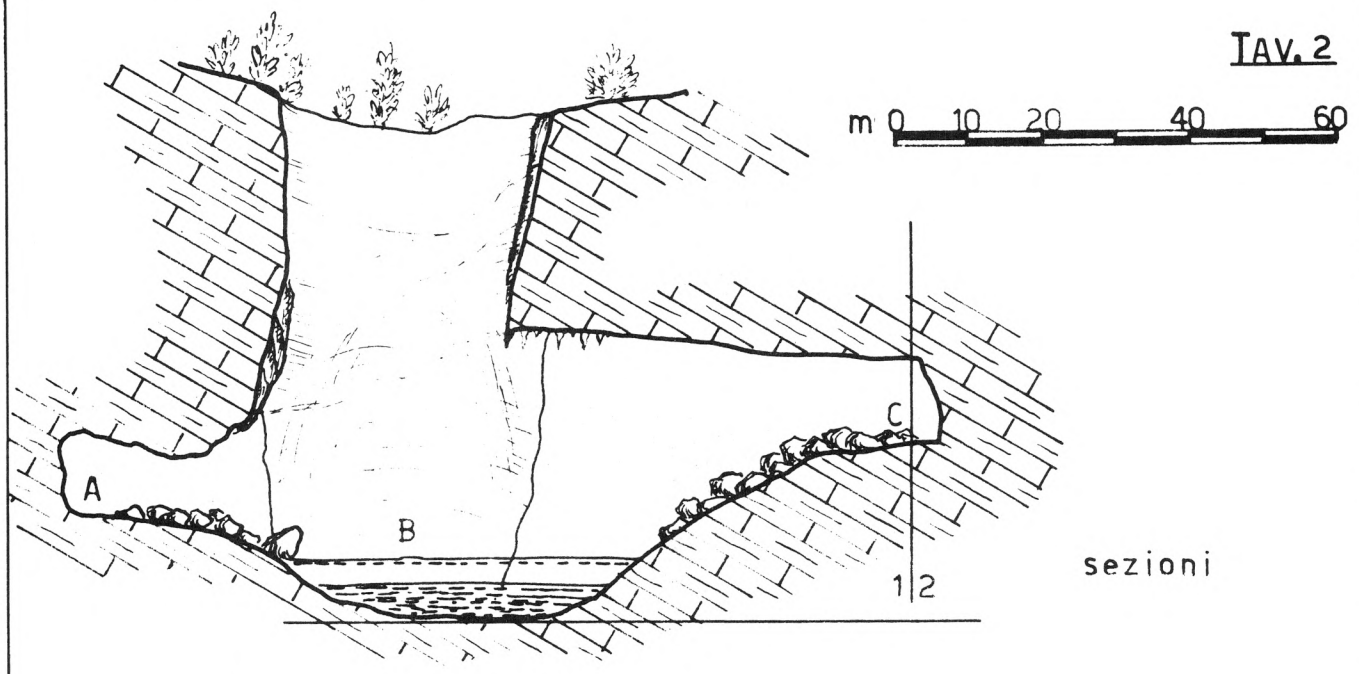
ril. del 12 ag. 1965

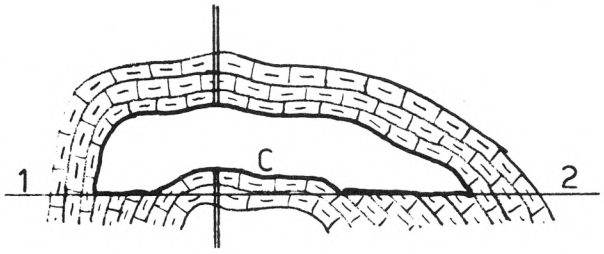
0 5 10 20 m



pianta

TAV. 2

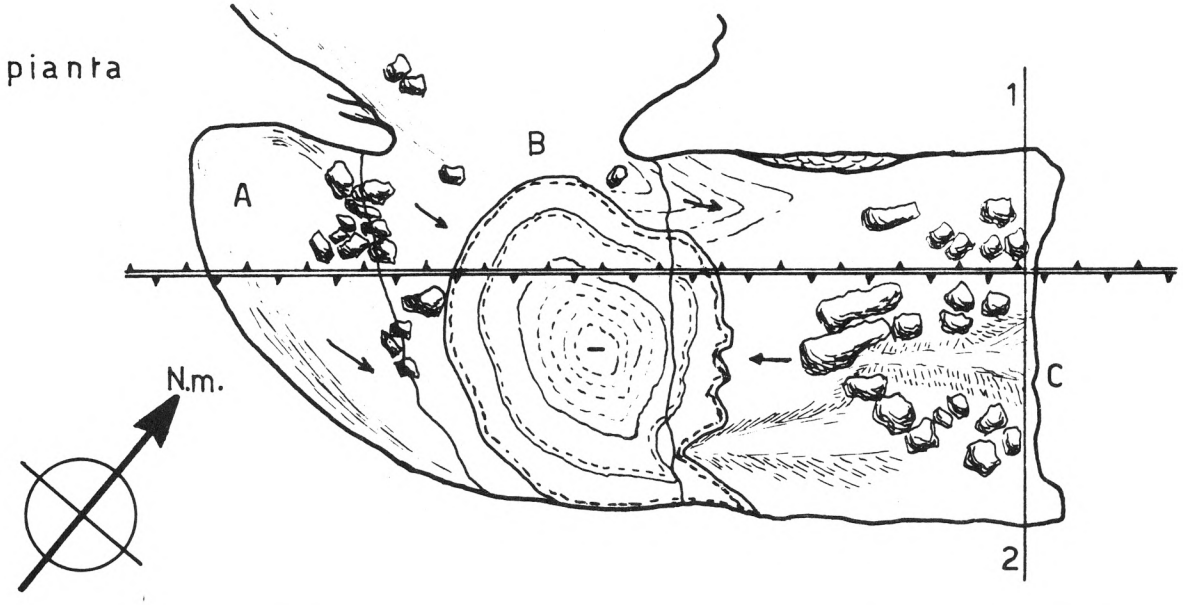


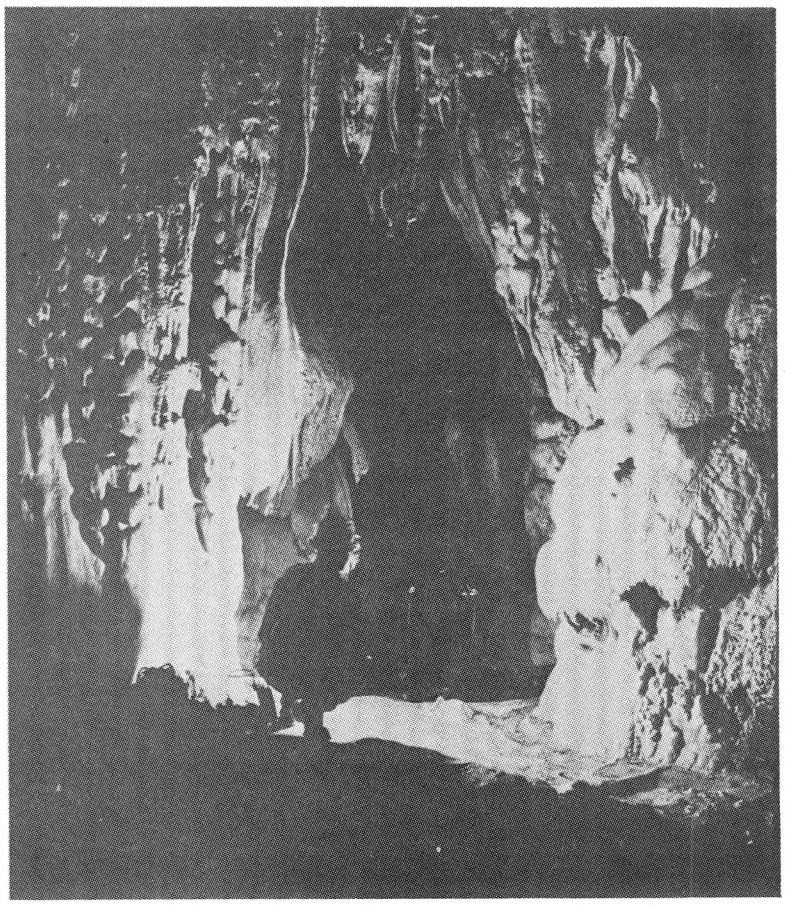


GROTTA DI PISCHINA URTADDALA

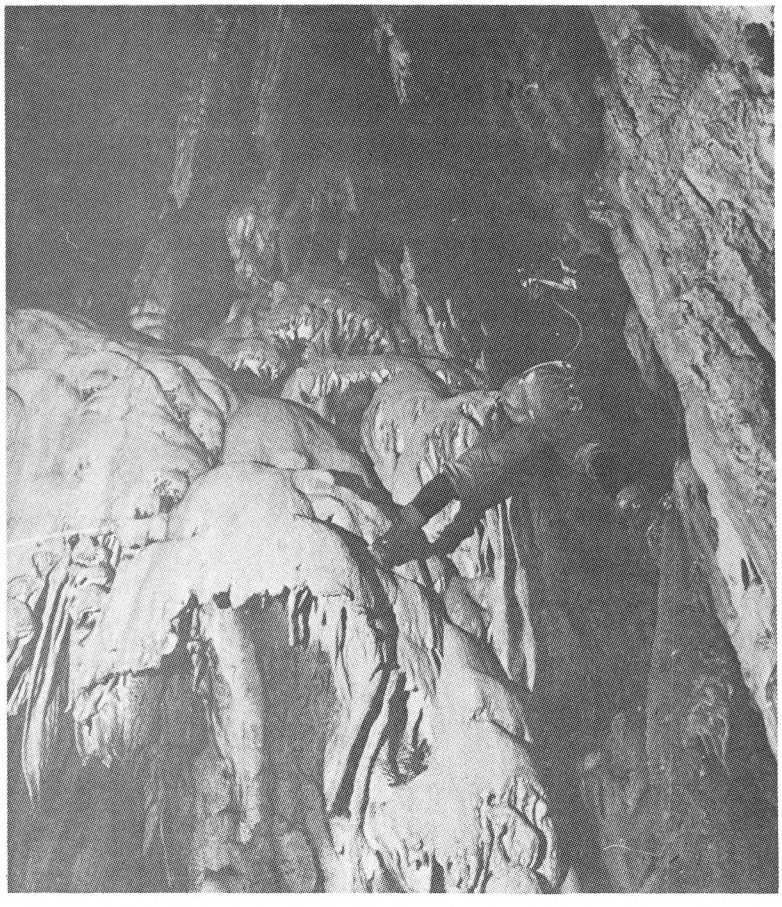
URZULEI - NUORO

ril. del 11 agosto 1965





Fot. 1: Il laghetto della grotta preistorica di Capriles, oggetto del culto delle acque.



Fot. 2: Particolare delle conccezioni sovrastanti il laghetto.

sotto la quale si ha lo scivolo di cui già si è detto, che scende fino alla base della parete opposta.

Nella seconda parte invece (punto H ril.) il fondo è quasi pianeggiante, ma è anch'esso reso molto viscido da "latte di monte" formatosi sulla superficie del crostone stalagmitico che ricopre tutto il pavimento.

Circa a metà della parete Ovest si apre un breve ramo laterale (punto D ril.), che mediante tre pozzetti separati da piccoli pianerottoli, termina in un basso cunicolo orizzontale lungo 14 m ed occluso da concrezioni (punto G ril.). Tracce di fumo sono evidenti anche in questo ramo, diretto verso la scarpata in cui si apre la cavità.

D'altra parte, anche il soffitto del cavernone raggiunge quasi la superficie, come è indicato dalle lunghe radici di piante osservate nella parte terminale (sez. trasv. 3-4 ril.). In quest'ultima la volta ha un profilo di arco a tutto sesto, mentre all'inizio la sua morfologia è suborizzontale, essendo costituita dal letto di un banco calcareo.

L'aspetto più spettacolare e suggestivo della cavità si ha in corrispondenza di un piccolo, ma abbastanza profondo laghetto di limpidissima acqua, sovrastato da un portale naturale formato da due archi ad ogiva sovrapposti, che con le loro splendide ed elaborate concrezioni simulano un altare gotico (punto N ril. - Figg. 1-2).

Il laghetto, che ha livelli stagionali variabili e tracima durante l'inverno invadendo anche la parte più bassa della caverna, ove si sono formate alcune vaschette concrezionate in prossimità della parete Est, termina dopo soli 3 m in corrispondenza di una colata alabastrina che s'immerge nell'acqua; è possibile anche superarlo dall'alto, arrampicandosi con notevole difficoltà sulla destra lungo le concrezioni che offrono precari appigli, in quanto rese viscide da uno spesso deposito di " latte di monte".

Neppure da questa parte si è trovata alcuna prosecuzione, ma si sono notate le solite tracce di fumo, dovute forse alla circolazione dell'aria attraverso strette fessure in collegamento con l'esterno; più probabilmente però questa ardita via è stata percorsa in un remoto passato dall'uomo preistorico. Infatti diverse stalattiti e stalagmiti sono state spezzate, forse per sistemare statuette votive di bronzo che, secondo le testimonianze di alcuni pastori, i banditi avrebbero rinvenuto ed asportato. Purtroppo, dopo la morte violenta di questi ultimi, avvenuta alcuni anni or sono, dei bronzetti in questione non si è avuta più alcuna notizia.

Di fronte al laghetto, a m 7 dallo stesso, un rilievo spesso circa 40 cm e largo m 3x2,50, costituito da un deposito concrezionare con vaschette ora in via di degradazione, in seguito ad un saggio di scavo ha restituito frammenti di vasellame fittile di impasto grossolano e di colore rosso e nerastro frammisti a terra nera per i resti carboniosi inclusi.

Diversi dei frammenti estratti dalle vaschette, ove erano stati deposti per scopi rituali e votivi, erano incrostati di carbonato di calcio avente lo spessore di qualche millimetro su una o su entrambe le superfici; soltanto in pochi si è potuto osservare qualche motivo decorativo graffito difficilmente decifrabile, anche perchè i materiali, estremamente fragili in quanto imbevuti dell'acqua di percolazione ed inglobati nelle concrezioni, si sono potuti estrarre soltanto in piccoli frammenti.

Altri materiali fittili sono stati raccolti in superficie in varie parti della grotta : pochi metri prima del rilievo, in corrispondenza della diramazione laterale, nella saletta prospiciente l'ingresso ed anche all'esterno, fra i detriti in frana.

La grotta è stata dunque frequentata dall'uomo in epoca preistorica ed anche se, allo stato attuale delle nostre conoscenze, non ci è dato determinare la cronologia assoluta dei reperti, si possono fare alcune considerazioni.

Le tracce di fumo, che hanno annerito quasi completamente la cavità, indicherebbero che il periodo di frequentazione della stessa si è protratto per lungo tempo.

Il motivo dell'importanza attribuita dall'uomo alla grotta si deve ricercare nella presenza dell'acqua, che vi permane tutto l'anno. E' noto infatti come, durante la preistoria - ed anche in epoca storica - e particolarmente in Sardegna, dalle età dei metalli in poi, abbia avuto ampia diffusione il culto delle acque.

Gli autori antichi, quali Sallustio, Soline ed Isidoro, affermano che le acque sono una benedizione per la Sardegna, dove in alcuni luoghi sgorgano fonti d'acqua calda miracolosa, usate con scopi terapeutici (3).

M. Pallottino afferma che l'interesse magico - religioso per i poteri visivi - così legati al culto delle acque - si palesa anche nel ricordo di esseri femminili con doppia pupilla rappresentati nei bronzetti votivi sardi (4).

Ma la grande diffusione in Sardegna del culto delle acque, considerate simbolo, dono e strumento di manifestazione della divinità, pur essendo una credenza religiosa propria delle regioni paleomediterranee ed africane, si giustifica naturalisticamente tenendo conto delle particolari consizioni di aridità della Sardegna (5).

Infatti, per un raggio di diversi chilometri attorno alla grotta di Capriles non v'è alcuna sorgente; gli animali e gli stessi pastori utilizzano le pozze d'acqua stagnante che permane durante l'estate in alcune depressioni ("marmitte dei giganti") negli alvei del rio Titione e del rio Flumineddu. E' questa una pratica comune in tutta la zona montuosa di Urzulei e di Orgosolo; ad esempio i pastori del cuile Sedda Arbaccas utilizzano l'acqua di una marmitta che si trova presso l'ingresso del vicino inghiottitoio di Orbisi (6) e, quando si recano al pascolo verso la gola di Gorropu, bevono le acque limacciose di un laghetto di circa 50 m di diametro che si trova in una depressione della gigantesca caverna denominata Pischina Urtaddala (Tav. 2) (7).

Anche il Pettazzoni (8) ricorda che nelle regioni montuose della Sardegna centrale, e più specialmente nel Nuorese, s'incontrano spesso delle cavità circolari della montagna, specie di pozzi naturali dove sprofondano le acque piovane e dove talora per vendetta i pastori fanno sparire le tracce dei loro nemici.

Queste cavità, delle quali è un esempio grandioso la voragine denominata "su Disterru di Orgosolo", profonda 90 m (9), vengono localmente chiamate "sas nurras". Secondo lo stesso Pettazzoni esse sembrano col loro nome accennare alle epoche remote che videro sorgere anche i nuraghi e sarebbero una cosa sola con quelle primitive conche naturali che furono poi ripetute ad arte entro i santuari.

E' da ricordare in proposito che alcune grotte sul fondo delle quali si trovano piccoli bacini o vene d'acqua, come ad esempio la nurra di Tuvedduli presso Campos Bargios (10) e Funtana s'Arga presso Campu Donanigoro (11), sono frequentate anche attualmente per rifornimento idrico dai pastori, che discendono al fondo mediante tronchi con rami recisi a mo' di rudimentale scala (Tuvedduli) o semplicemente sfruttando, al buio, i pochi appigli delle pareti, rese levigatissime per il prolungato passaggio (Funtana s'Arga).

Si ha un'evidente analogia con quelle caratteristiche costruzioni megalitiche sarde attribuite al Nuragico medio I e II che sono i templi a pozzo o pozzi sacri. Gli isolani infatti, oltre che approfittare di stagni e laghetti come abbeveratoi per gli animali, protessero alcune fonti con opere architettoniche e costruirono pozzi ove si raccoglieva l'acqua piovana, facendone oggetto di culto.

Si conoscono poco più di una trentina di templi a pozzo, diffusi in tutta la Sardegna, all'interno o nelle vicinanze di villaggi nuragici più o meno conservati, talora facenti parte di santuari ed in qualche caso apparentemente isolati. Tutti, sia i più antichi in "opera poligonale" e " subquadrata", sia i più recenti in "opera quadrata" o "tholos", sono costruiti secondo un unico schema: un vestibolo a fior di suolo, una scala unica rettilinea coperta da un solaio di architravi che segna la linea discendente dei gradini ed una camera a "tholos" che funge da pozzo e che ricopre un pozzetto sottostante. Quest'ultimo costituiva il centro materiale e ideale del complesso architettonico, in quanto conteneva l'acqua di vena ritenuta sede dello spirito o degli spiriti idrologici; nel vestibolo si svolgeva la funzione religiosa riservata al sacerdote e si deponevano le offerte; la scala, consentendo di attingere l'acqua, che era nello stesso tempo d'uso e sacra, faceva anche da tramite tra il mondo esterno, degli uomini, e il pozzo, regno sotterraneo del dio o degli dei delle fonti (12).

Notissimi sono ad esempio i templi di Su Putzu presso Orroli, di Lemarzu presso Rebeccu, di Kukkuru Nuraxi presso Settimo S. Pietro, di Ballao (Funtana Coberta), di S. Lucia (Funtana Sansa) sull'altipiano di Benorva, di S. Cristina a Paulilatino, di Sa Testa presso Olbia, di Losa presso Abbasanta, di Su Tempiesu presso Orune, di S. Anastasia in Sardara e di S. Vittoria sul tavolato basaltico di Serri.

Di quest'ultimo monumento, uno dei più insigni, diamo la descrizione fattane dal Pettazzoni (13): " Si tratta di una camera circolare di fine lavoro, a cupola egiva, col diametro di oltre due metri alla base, cinta intorno da un robustissimo muro, pure circolare, dal quale si protendono verso mezzogiorno due braccia diritte, parallele, fiancheggianti uno spazio quadrangolare che funge da vestibolo. La camera si sprofonda per circa tre quarti della sua altezza sotto il piano del vestibolo: una scala di pietra di tredici gradini conduce dal vestibolo al fondo della cella il quale è formato da una specie di conca incavata nel basalte della roccia. In capo alla scala e sul suo asse mediano, una delle lastre che pavimentano il vestibolo presenta un tenue rialzo profilato in forma di tavola trapezoidale lobata agli angoli, che fungeva da ara, ed aveva nel mezzo un incavo circolare fornito di un foro comunicante con un canaletto di scolo che passava sotto il lastricato".

E sebbene l'Autore affermi che la sotterraneità (parziale) del tempio a cupola di S. Vittoria non implichi di necessità un culto ctonico, più formale che reale (14), viene spontaneo il confronto tra il monumento della giara di Serri e la grotta di Capriles.

Infatti anche dalle rocce di quel tavolato non sgorga alcuna fonte. "Il basalto durissimo della colata lavica, che si stese orizzontalmente come un immenso tappeto sulle marne terziarie sottostanti, non ha scaturigini, né lascia filtrare l'acqua piovana, che si raccoglie e rimane per giorni e giorni entro le piccole e grandi conche naturali della superficie impermeabile. Questi depositi d'acqua..... dovettero essere largamente utilizzati nell'antichità. Infatti ogni acqua, o fosse pullulata dalla terra o caduta dal cielo, era provvidenziale pel Sardo primitivo..... E come servivano agli stessi bisogni, così avevano le stesse virtù certe acque di origine

celeste e certe altre sorgenti sgorganti dalle viscere della terra. Ora quei serbatoi temporanei nella roccia che provvedevano magentane-amente ai bisogni della tribù, dovettero fornire il prototipo naturale a quella conca rupestre che fu il nucleo e l'elemento intrinseco onde poi si svolse il tempio a cupola".

E la grotta di Capriles offriva appunto tutte le caratteristiche del tempio naturale, col suo laghetto nel quale si raccolgono le acque di percolazione. Inoltre la sua posizione nascosta, l'accesso impervio alla grande caverna tramite il pozzetto, la maestosità, l'oscurità ed il silenzio dell'ambiente ipogeo, devono aver naturalmente accresciuto nei primi scopritori quel senso di sacro e di divino che i primitivi attribuiscono a ciò che è misterioso. Donde la frequentazione per scopo pratico e magico-religioso della cavità alla luce di torce fumose e di fuochi che hanno annerito la cavità stessa ed il deposito di offerte votive sulle concrezioni antistanti e sovrastanti l'acqua.

Pensiamo si devano escludere invece insediamenti permanenti, a causa delle sfavorevoli condizioni climatiche della grotta, fredda ed umida.

Anche l'ingresso della relativamente vicina risorgente "Luigi Donini", che si apre a metà circa della rupe chiamata "Scala su Portellu" (15), sono stati rinvenuti frammenti di vasellame fittile nella caverna fossile sovrastante i primi laghi, il che fa pensare ad una pratica diffusa in molte cavità naturali, alcune delle quali probabilmente non ancora individuate, del "Supramonte" di Urzulei e di Orgosolo.

Quanto ai frequentatori della grotta di Capriles, essi furono indubbiamente gli stessi che costruirono ed abitarono i vicini nuraghi di Gorropu, di Mereu ed il villaggio nuragico presso quest'ultimo; la cavità infatti è situata tra i due complessi megalitici e dista in linea d'aria circa 350 m dal primo e circa 550 dal secondo(16)

Posti su alture di largo dominio strapiombanti ad Ovest e rapidamente declinanti ad Est, i due nuraghi sono in collegamento visivo tra di loro, dominando quello di Gorropu il rio Titione e quello di Mereu sia tale valle che quella del Flumineddu, essendo stato edificato ad arte a cavaliere delle due.

Poco conosciuti ed affatto studiati (solo il nuraghe di Gorropu viene citato dal Taramelli che, peraltro, non avendolo visto di persona, ne riferisce erroneamente la completa distruzione (17), i due monumenti non ci possono essere per il momento di valido aiuto per determinare a quale fase dell'età nuragica si deva attribuire il culto praticato nella grotta di Capriles. I frammenti di vasellame fittile trovati nel loro interno e nelle immediate vicinanze, di rozzo impasto, sono frantumati e degradati in modo tale da non potersene desumere alcuna foggia vascolare. Soltanto uno scavo stratigrafico, che sarebbe invero auspicabile specialmente al nuraghe di Mereu, magnificamente conservato, potrebbe contribuire a risolvere il problema; non ci sembra infatti sufficiente per la datazione la foggia delle costruzioni, le cui torri principali hanno profilo puro, dalla figura primitiva di torre bassa e massiccia con notevole inclinazione delle murature esterne - caratteristiche queste delle più antiche costruzioni nuragiche (18) - mentre altre parti, aggiunte probabilmente in un secondo tempo (torrette e cortine del nuraghe di Mereu, bastione murario ellittico con corte e celle, ora distrutte, del nuraghe di Gorropu) sembrano denunciare caratteristiche delle forme più evolute.

Dobbiamo tener conto infatti dell'attardamento culturale che si ebbe in questi dirupi montuosi dell'Ogliastra e della Barbagia, ove trovarono rifugio per l'ultima disperata resistenza contro gli invasori Cartaginesi e Romani quei Sardi che vollero conservare l'indipendenza e le antiche tradizioni.

Bibliografia

(1) G. CHABRIER, - La synclinal Crétacé de Gorropu (Sardaigne), in "Bull.Soc. Géol. de France", Paris 1968, pp. 321-322.

(2) S.VARDABASSO - Sardegna Speleologica, in "Rassegna Speleologica Italiana", n. 3, VII (1955),pp. 119-134; M. COLUMBU, Note su alcune grotte della provincia di Nuoro, ibidem, pp. 139-149.

(3) R.PETTAZZONI - La religione primitiva in Sardegna, Piacenza 1912; G. PATRONI, La Preistoria,Milano 1937.

(4) M.PALLOTTINO - La Sardegna Nuragica, Roma 1950.

(5) M.PALLOTTINO - op. cit.; A.M. RADMILLI, la preistoria d'Italia alla luce delle ultime scoperte, Firenze 1963.

(6) L.CLO -L.DONINI - Osservazioni in margine alla "Spedizione Sardegna 1964", in "Natura e Montagna", Ser.2, IV (1964), n.2, pp. 163-172; IDEM, Recenti esplorazioni in Sardegna, in "Rass. Spel.Ital." XVIII (1966), n. 1-2, pp. 15 (estr.) Le coord. della cavità sono : F. 208 III NO (Urzulei), Lat. 40° 09' 46", Long. 2° 57' 45" W. M. Mario, q. 770.

(7) Le coord. geogr. della grotta sono : F. 208 IV So (Monte Oddeu), Lat. 40° 10' 11", Long. 2° 57' 43" W.M. Mario, q. 700.

(8) R.PETTAZZONI - op. cit.

(9) Le coord. geogr. della voragine sono : F. 208 IV SO (Monte Oddeu), Lat. 40° 09' 10", Long. 2° 59' 07" W M. Marie, q. 925. Interno a questa cavità sono fiorite fosche leggende di streghe e si raccontano storie di banditi e fatti di sangue ben noti ai pastori delle località più vicine.

(10) Le coord. geogr. sono le seguenti : F. 208 III N O (Urzulei), Lat. 40° 08' 37", Long. 2° 57' 45" W M. Marie.

(11) Le coord. geogr. della cavità sono: F. 208 IV SO (Monte Oddeu), Lat. 40° 12' 46", Long. 2° 57' 22" W M. Marie, q. 785.

(12) G.LILLIU - La civiltà dei Sardi dal neolitico all'età dei nuraghi, 2 ed., Torino 1967.

(13) R. PETTAZZONI - op. cit.; IDEM, in "Bull. Pal. Ital.", XXXV (1909).

(14) Il Patroni (La Preistoria, op. cit.) afferma invece che nel culto delle acque di può veder adombrata la venerazione di forze "chtonie e terrigene e di quelle celesti, nella loro benefica manifestazione delle varie acque"; Lilliu (La civiltà dei Sardi, op. cit.) prospetta l'ipotesi che il culto si rivolgesse a divinità femminili delle acque - in particolare dell'acqua di vena, chtonia - cioé alla Dea Madre neolitica che continuava ad essere oggetto di culto nelle caverne e che sarebbe rappresentata nella celebre statuetta nota come " la madre dell'uccise", rinvenuta in una caverna dello strapiombante bastione calcareo di Punta is Gruttas, che domina Urzulei.

(15) L. CLO' -L.DONINI- La grotta-risorgente di Gorropu (424 SA/NU), in "Speleologia Emiliana", II (1965), n.2, pp. 57-61; A. ASSORGIA- P.P. BIONDI- A.MORISI - Aspetti geomorfologici del Sopramonte di Urzulei - Nuore (Sardegna centro-orientale), relaz. presentata al X Congr. Naz. Spel., Roma 1968. Le coord. geogr. della cavità sono le seguenti: F.208 IV S.O (Monte Oddeu), Lat. 40° 10' 20", Long. 2° 57' 37" W M.Marie, q. 675.

(16) Le coord.geogr. del nuraghe di Gorropu sono : F. 208 IV SO (Monte Oddeu), Lat. 40° 10' 27", Long. 2° 58' 23" W M. Marie, quelle del nuraghe di Moreu : F. 208 IV SO (Monte Oddeu), Lat. 40° 10' 13", Long. 2° 58' 41" W M. Marie, q. 835.

(17) Carta Archeologica d'Italia al 100.000, F. 208 (Dorgali), Firenze 1929, a cura di A.Taramelli.

(18) G. LILLIU - I nuraghi, torri preistoriche della Sardegna, Cagliari 1962.

Über den Stand der archäologischen Forschungen in Schachthöhlen Deutschlands unter Berücktichtigung ausländischer Parallelfundstellen

MANFRED MOSER (Landshut / Bundesrepublik Deutschland)

Zusammenfassung:

Bei der Erforschung zahlreicher Schachthöhlen in Deutschland stiess man bei Grabungen in den Schuttkegeln auf menschliche Skelette, Kreamik, Bronzen und Waffen aus vorgeschichtlicher Zeit. Die Entdeckungen reichen bis ins 18. Jahrhundert zurück. Doch besonders die letzten Jahrzehnte erbrachten neue, wichtige Ergebnisse. Die merkwürdigen Befunde, insonderheit in Verbindung mit lose umherliegenden Schmucksachen, Geröll und Massen von Holzkohle sowie die Zusammensetzung der Individuen aus überwiegend Jugendlichen und Kindern, lassen auf rituelle Bestattungen schliessen. Darüber hinaus dürften einige der oftmals sehr tiefen Schächte als regelrechte Begräbnishöhlen, Massengräber, Ossuarien und Richtstätten gedient haben. Viele Mythen der europäischen Hochkulturen, Überlieferungen und Volksbräuche, die sich zum Teil bis ins 3. vorchristliche Jahrtausend verfolgen lassen, unterstützen die Annahme, dass es sich bei der überwiegenden Zahl der Skelette und Skeletteile um Menschenopfer handelt, bei den materiellen Hinterlassenschaften um Weihegaben. In einigen Fällen, wie in der Jungfernhöhle bei Tiefenellern und in den Höhlen bei Bad Frankenhausen (DDR), gilt Anthropophagie als sicher erwiesen.

Jedoch nicht allein in Deutschland gibt es derartige Fundstellen. Die Karstgebiete Sloviniens, Italiens und Frankreichs sind reich an fündigen Schächten, in denen Votivgaben gefunden wurden, die zeitlich vom Barock bis ins Neolithikum, vielleicht sogar bis ins Mesolithikum reichen. Nirgends aber begegnen wir eindruckvolleren Opferschächten als gerade auf Kreta mit seiner Zeusgrotte und der Höhle von Psychro sowie in Mexiko. Dort spielten nicht nur die Cenote, die das lebensnotwendige Wasser spendeten, im Kult eine überaus wichtige Rolle, sondern auch die trockenen Schächte, die ebenfalls Wohnsitz der Regen- und Wettergottheiten waren, und von denen das sogenannte "Hohepriestergrab" (Abb. 6) in Chichén Itzá und die Höhle I im Cenote X-Coton in Mayapan zu den interessantesten zählen.

Wie weit das Brauchtum um die Schachthöhlen zurückreicht und ob jene manchmal über 100 m tiefen Abgründe bereits im Paläolithikum ihre Opfer forderten, muss vorerst offen bleiben.
Eine klare Antwort auf viele Fragen, welche die deutschen Höhlen betreffen, wird es nur dann geben, wenn neben der Prähistorik die Archäologie, Ethnologie und Volkskunde gleichermassen berücksichtigt werden und möglichst viele wissenschaftlich exakt beobachtete Befunde vorliegen.

Résumé:

A l'exploration de nombreux gouffres en Allemagne, on trouva aux fouilles des squellettes humains, de la céramique, du bronze, et des armes préhistoriques dedans les troncs de décombre.
Les découvertes datent de dix-huitième siècle; mais surtout les dernières décennies apportaient de nouveaux resultats importants. Les curieux états, spécialement en relation de bijoux ou bien d'ornements dispersés, d'éboulis et de tas des charbons de bois, et en plus la composition des individus, en majorité des adolescents et des enfants, indiquent des funerailles rituelles.

De plus, on dirait que plusieurs puits étant souvant très profonds, aurait servi comme grotte funéraire ou fosse commune ou ossuaires ou comme lieux du supplice.
Beuacoup de mythes des grande-cultures européenes, des traditions, des coutumes populaires qui peuvent être poursuivies jusqu'au troisième milléanaire avant le Christ, soutiennent la supposition qu'à la plupart des squelettes et parts des squelettes il s'agit des sacrifices humains; quant au relicat materiel il s'agit des offrandes. En quelques cas, par example dans la cave "Jungfernhöhle" à Tiefenellern et dans les grottes à Bad Frankenhausen (DDR), l'anthropophagie est considerée comme prouvée.
Mais pas seulement en Allemagne, il y en a de telles sources. Les régions en pioche de la Slovénie, de l'Italie et de la France sont riches des fosses abondantes, dans lesquelles on a trouvé des suffrages datant du baroque jusqu'au néolithique, peut-être même au mésolithique. Mais nous ne nous rencontrons pas ailleurs qu'en Crête de plus impressionants puits de sacrifice avec la grotte dédiée au Zeus et la cave de Psychro (voir image 5); en plus en Mexique.

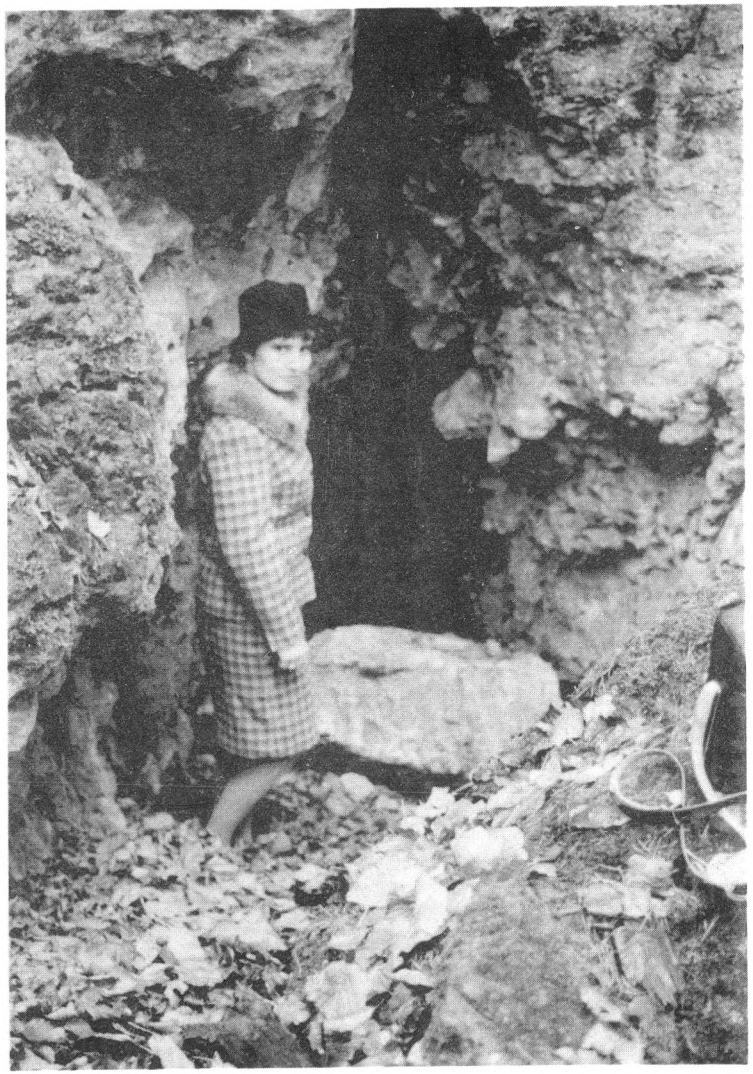


Abb. 1: Eingang zum Schacht der Grundfelsenhöhle bei Gaisheim, Kreis Sulzbach-Rosenberg.

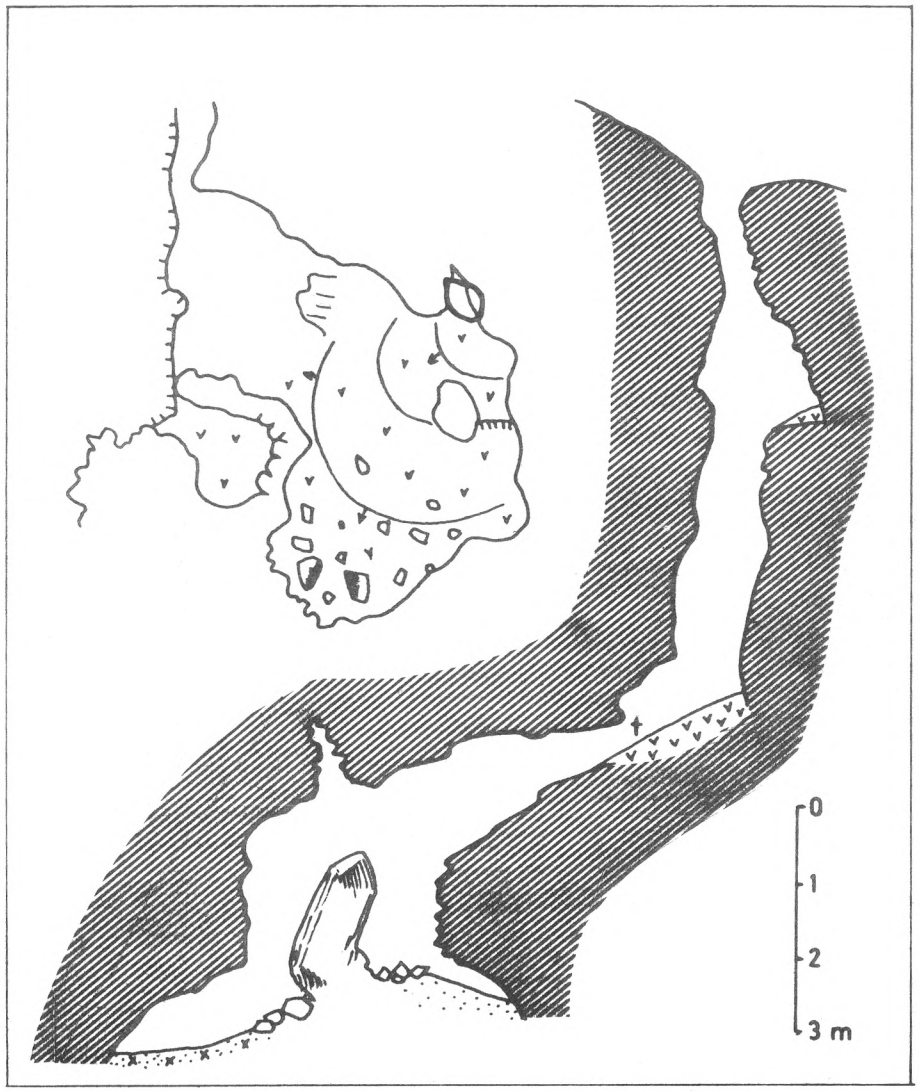


Abb. 2: Steinbergschacht bei Rinnenbrunn, Kreis Eschenbach. In der kleinen Schutthalde Kinderknochen, Fussknochen eines Erwachsenen, La Tène-Keramik und Holzkohle.

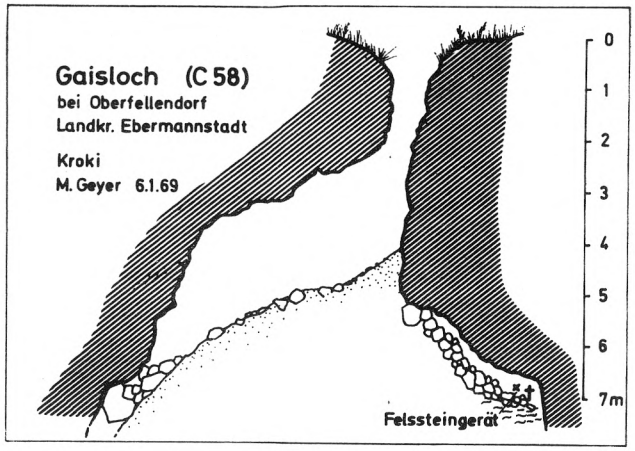
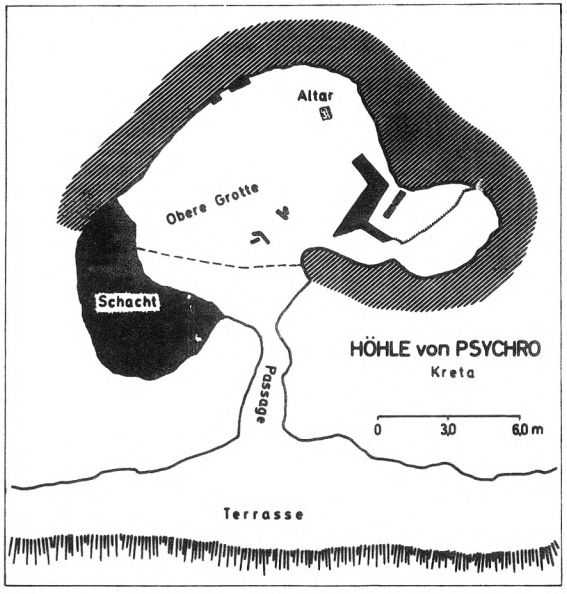


Abb. 3: Geisloch (auch Gaisloch) bei Oberfellendorf/ Kreis Ebermannstadt. Unter der rechten Geröllhalde die frühneolithischen Funde.

Abb. 5: Die Höhle von Psychro nach einer Planaufnahme von B.V.Darbishire, Oxford 1900.



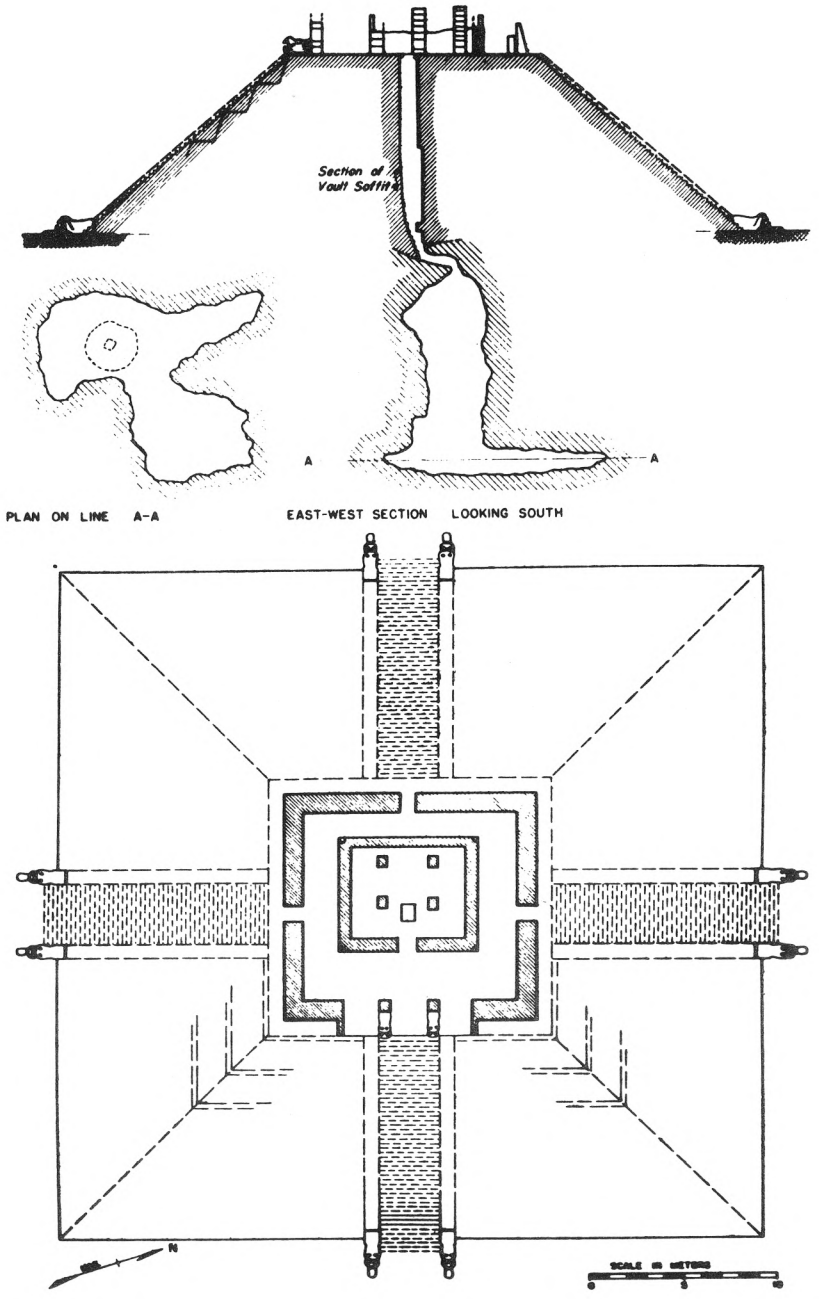


Abb. 6: Das "Hohepriestergrab"; Maya-Tempelpyramide mit senkrechtem Treppenschacht, Passage und Schachthöhle; Chichen Itzá, Yukatan, Mexiko (nach J.C.Harrington).

C était là que non seulement les Cenotes donnant de l'eau importante et vivante jouaient un rôle très important dans le culte, mais encore les puits secs étant également les domiciles des dieux de la pluie et des dieux des tempêtes. Las plus interessante desquelles devrait être la "tombe du grand-prêtre" (voir image 6) à Chichén-Itzá et la grotte I en Cenote X Coton à Mayapan.

Combien longtemps on y trouve la coutume des gouffres, si ces abîmes mésurant parfois plus de cents metres demandaient leurs sacrifices déjà au paléolithique, c'est encore toujour en suspens.
On reçoit une nette réponse à beuacoup de questions touchant les grottes allemandes seulement si l'on prend en considération l'archéologie, l'éthnologie et le folklore à côté de la préhistoire et s'il y en a beuacoup d'avis examinés scientifiquement et exactement le plus possible.

Summary:

With the exploration of numerous sink-holes in Germany, the explorers found at their digging in the mud human skeletons, ceramic, bronze, and arms from prehistorical times. The explorations dated back till the eighteenth century; but especially the last decades brought out new and important results.
The curious findings, especially in connection with loose scattered ornaments, boulders and masses of charcoal, and the composing of the individuals of mainly adolescents and children, have given rise to the conclusion of ritual burials.

Moreover, some of the sometimes very deep shafts are supposed to have served as regular burial caves, common graves, ossuaires, and execution places. A lot of myths of the European high cultures, traditions and customs which can partially be traced back until the third thousand year before Christ, force the presumption that the majority of skeletons and parts of them belongs to human sacrifices; the material leaving, however, to devotive gifts.

In some cases, as in the Jungfernhöhle (cave of the virgin) at Tiefenellern and as in the caves at Bad Frankenhausen (DDR) the cannibalism is sure to be proved.

But not only in Germany can such findings be discovered. The karst areas of Slovenia, of Italy and France are rich in substantial shafts in which devotive gifts have been found dating from the baroc time back to the neolithic, maybe even to the mesolithic.
But nowhere else are we confronted with more impressionable shafts of sacrifice than on Crete in particular with the grotto of Zeus, the cave of Psychro (see Picture 5), and in Mexico.
There were not only the Cenotes that played a great part in the cult giving water necessary for living, but also the dry shafts which had been the domicile of the rain and tempest gods and of which the so-called "high priest's grave" (see Picture 6) in Chichén Itzá and the cave I in the Cenote X Coton in Mayapan belongs to the most interesting ones.

The question of how far the custom of the sink-holes dates back or whether those abysses which are sometimes over one hundred metres deep, have demanded their victims in the palaeolithic, is still open. Only if man pays equal attention to archaeology, ethnology and folklore besides prehistorics and if as many scientific statements are exactly examined as possible will there be a clear answer to the many questions concerning the German caves.

Es gibt in Deutschland kaum eine Schachthöhle, die im Volksglauben und Brauchtum eine grössere Rolle spielte als die Veledahöhle bei Velmede im Sauerland. In einer umfangreichen Sagensammlung hat 1859 Adalbert Kuhn folgendes über sie aufgezeichnet:

> "Zu Velmede an der Ruhr zieht man am Ostertage hinauf nach der oberhalb des Ortes gelegenen Höhle, und zwar nachdem man die Roggenfelder mit geweihten Palmen besteckt hat, damit sie reichlich tragen und ihnen kein Wetter schade. Dies geschieht in feierlicher Procession, und wenn dieselbe am Berge über den Aeckern angekommen ist, und nicht eher, wird mit den Glocken geläutet. In der Höhle rufen die Jungfern in den fast senkrecht hinuntergehenden Gang hinab: "Veleda! gib mir einen Mann!" und es antwortet aus der Höhle "Han". Zu gleicher Zeit geht man zu den in der Höhle und einem Nebengange befindlichen Wasserbecken und sieht zu, ob sie gefüllt oder leer sind, wonach man sich ein fruchtbares oder unfruchtbares Jahr verspricht."

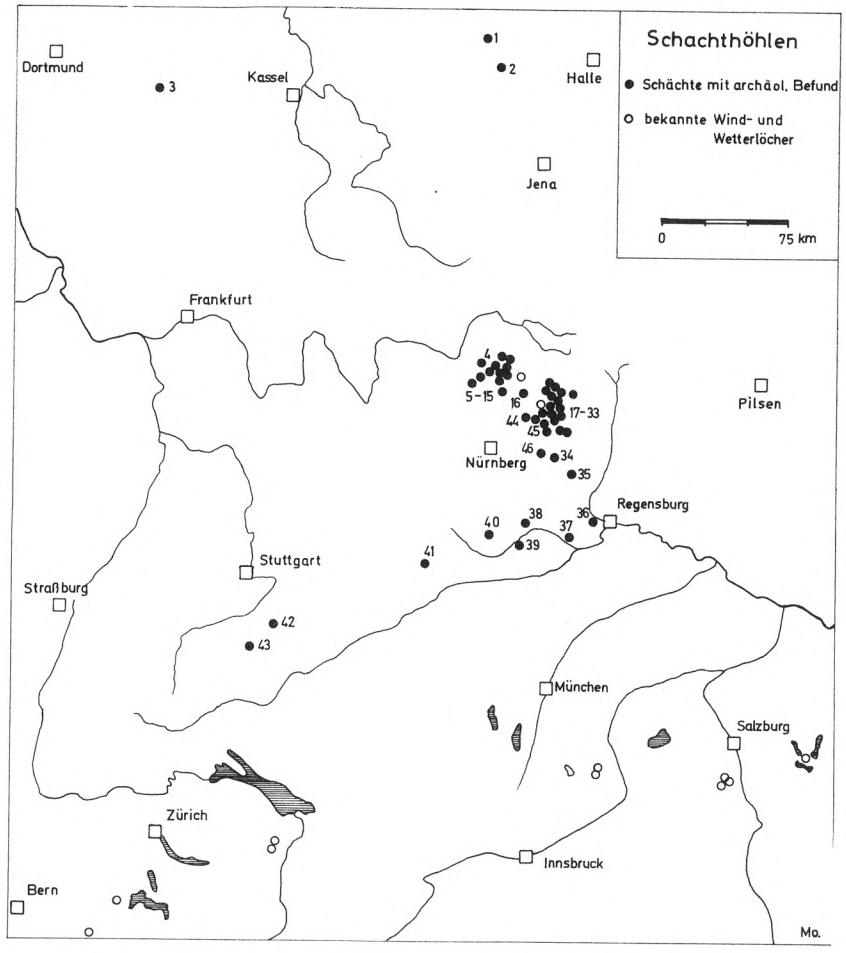


Abb. 4

	Kataster Nr.
1. Diebeshöhle bei Uftrungen, Südharz	
2. Spalt- und Klufthöhlen bei Bad Frankenhausen	
3. Veledahöhle oder Hollenloch bei Velmede, Sauerland	
4. Jungfernhöhle bei Tiefenellern /Krs.Bamberg	C 238
5. Försterhöhle bei Waischenfeld /Krs.Pegnitz	B 28
6. Esperhöhle bei Leutzdorf /Krs.Pegnitz	D 105
7. Dietersberghöhle bei Egloffstein /Krs.Forchheim	D 42
8. Schullerloch oder Hohlloch bei Buckenreuth /Krs.Ebermannstadt	D 114
9. Gaillenreuther Höhle oder Zoolithenhöhle bei Gaillenreuth /Krs.Ebermannstadt	D 109
10. Rosenmüllerhöhle bei Streitberg /Krs.Ebermannstadt	C 5
11. Rauenberger Höhle oder Brandshöhle bei Breitenlesau /Krs.Ebermannstadt	C 21
12. Geisloch bei Oberfellendorf /Krs.Ebermannstadt	C 58
13. Hungenberger Höhle /Krs.Pegnitz	B 13
14. Brunnsteinhöhle bei Albertshof /Krs.Ebermannstadt	C 10
15. Wundershöhle bei Muggendorf /Krs.Ebermannstadt	C 8
16. Felsenloch bei Höfen /Krs.Pegnitz	D 313
17. Grosse Hoher-Ast-Höhle bei Sackdilling /Krs. Eschenbach	A 39
18. Windloch, früher Ruechloch, bei Sackdilling/Krs. Sulzbach-Rosenberg	A 41
19. Brunnerschacht bei Düsselbach /Krs.Hersbruck	A 129
20. Breitensteiner Bäuerin oder Schelmbachsteinloch /Krs.Sulzbach-Rosenberg	A 32
21. Windloch bei Kürmreuth /Krs. Amberg	A 114
22. Steinbergschacht bei Rinnenbrunn /Krs.Eschenbach	A 25 a
23. Bismarckgrotte bei Rinnenbrunn /Krs.Eschenbach	A 25
24. Windloch, Winterloch oder Schneeloch bei Buchhof /Krs. Sulzbach-Rosenberg	A 15
25. Grubenloch bei Oberklausen /Krs. Sulzbach-Rosenberg	A 13
26. Grundfelsenhöhle bei Gaisheim /Krs. Sulzbach-Rosenberg	A 138
27. Appelshöhle oder Steinbachhöhle bei Steinbach /Krs.Sulzbach-Rosenberg	A 29
28. Windloch oder Kaufmannshöhle bei Loch/Krs. Hersbruck	A 6
29. Pumperloch bei Gerhardsberg /Krs. Sulzbach-Rosenberg	A 17
30. Windloch bei Krottensee oder Maximiliansgrotte /Krs. Eschenbach	A 27
31. Pumperloch oder Lupperghöhle bei Schönlind /Krs. Sulzbach-Rosenberg	A 169
32. Osterhöhle oder Osterloch bei Trondorf /Krs.Sulzbach-Rosenberg	A 94
33. Fischerhöhle oder Helmloch bei Heuchling /Krs.Sulzbach-Rosenberg	A 3
34. Peterloch bei Woppental /Krs.Sulzbach-Rosenberg	E 7
35. Bretstaller Loch bei Hohenburg /Krs. Parsberg	F 6
36. Weiherholzhöhle bei Etterzhausen /Krs. Regensburg	F 97
37. Silberloch bei Neuessing /Krs. Kelheim	H 2
38. Kleines Reizerloch bei Haunstetten /Krs. Eichstätt	K 25
39. Arnthöhle, früher Arngrube bei Attenzell /Krs. Eichstätt	J 3
40. Hohlloch bei Raitenbuch /Krs.Weissenburg i.B.	K 5
41. Hexenküche im Kaufertsberg bei Lierheim /Krs.Nördlingen	M 14
42. Schertelshöhle im Steinerhaushau bei Westerheim /Krs.Münsingen	7424/06
43. Karlshöhle bei Erpfingen /Krs. Reutlingen	
44. Spaltenhöhle bei Achtel /Krs. Lauf/Pegnitz	D 388
45. Windloch oder Wiedelloch bei Neukirchen /Krs. Sulzbach-Rosenberg	A 111
46. Windloch bei Kauerheim /Krs. Hersbruck	E 11

In dieser Aufstellung sind Höhlen mit schachtähnlichem Eingang inbegriffen. In einigen Schächten sind die Befunde noch sehr unsicher.

Anderen Überlieferungen nach gaben die Leute Blumenspenden und beteten vor der Höhle bis die Glocken von Valmede zur Vesper riefen. Noch vor Beginn des Krieges 1914/18 trafen sich jung und alt an den Sontagnachmittagen um Ostern vor der Höhle, um einen altüberlieferten Brauch zu pflegen: Man ging zum oberen Rand der Halle und warf Steine in die Tiefe.

Was wunder, dass der Ausgräber der Höhle, Emil Carthaus, im unteren Teil der schachtartigen Halle eine gewaltige meterhohe Geröllhalde vorfand, der er - und dies ist bemerkenswert - vorgeschichtliche Scherben, Tierknochen und Metallsachen entnahm. Von grösster Wichtigkeit war jedoch die Entdeckung zahlreicher menschlicher Gebeine, die in den oberen steil geböschten Schutthängen zusammen mit viel Holzkohle, Scherben, Schmucksachen und Eisenwaffen lagen, die zeitlich den Metallzeiten angehören und bis in die römische Epoche reichen. Da Carthaus die Skelette nicht mehr in anatomisch richtigem Zusammenhang vorfand und einige Knochen Brandspuren aufwiesen, darf Anthropophagie als erwiesen gelten, obwohl wir dem entgegenhalten möchten, dass die Böschung die natürliche Selektion der Leichen wesentlich beeinflusst haben dürfte.

Obgleich Carthaus die Veledahöhle bereits 1910 der Wissenschaft bekannt machte und 1911 die Funde vorlegte, ist es verwunderlich, dass noch 1923 ein namhafter württembergischer Vorgeschichtler meinte, den Funden aus dem "Fauthsloch" , dem Zugangsschacht zur Karlshöhle bei Erpfingen, bei denen es sich hauptsächlich um Skelettreste, Geschirr, Waffen sowie Bronze- und Goldschmuck handelte, keinen religiösen Sinn beimessen zu können. Diese befremdliche Auffassung lässt sich nur dahin gehend erklären, dass die archäologischen Ergebnisse im Ausland, in Slowenien, in Frankreich, in Kreta und Mexiko, bei uns nicht gebührend Beachtung fanden. Erst Josef Richard Erl, der ehemalige Kustos der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg, verhalf einer grundlegenden Erkenntnis zum Durchbruch, die er durch Grabungen in der Grundfelsenhöhle bei Gaisheim, in der Breitensteiner Bäuerin bei Königstein, im Brunnerschacht bei Düsselbach und vor allem in der Dietersberghöhle bei Egloffstein untermauerte. Ferner grub er mit der Arbeitsgemeinschaft "Ahnenerbe" vor Kriegsende erfolgreich im Klingloch der Esperhöhle bei Leutzdorf (Karte Abb. 4). Die sich ähnelnden Fundverhältnisse am Grunde der Schächte und die Zusammensetzung des Fundgutes wiesen auf vorgeschichtliche rituelle Bestattungen, in der Regel wohl Opferungen hin, deren harmlose Ausläufer wir im Brauchtum des Barocks und des 19. Jahrhunderts zu suchen haben.

Leider muss die Masse der Schachthöhlenfunde als verschollen gelten, was um so betrüblicher ist, als nur die Hinterlassenschaften aus der Dietersberghöhle wissenschaftlich zur Auswertung kamen.

Die Zahl der bis 1945 in Deutschland bekannten fündigen Naturschächte wurden schon bald durch intensive Forschungen und Befahrungen um ein Beträchtliches erhöht. Marksteine setzten Otto Kunkel, der die Jungfernhöhle bei Tiefenellern ausgrub, Günter-Behm-Blancke, der sich in jahrelangen Grabungskampagnen den Gipsspalten im Kyffhäuser bei Bad Frankenhausen (DDR) widmete, und nicht zuletzt Rudolf Albert Maier, der 1968 das Felsenloch bei Höfen - ein typisches Wetterloch übrigens, fachmännisch untersuchte. Eine Menge neuer Fundstätten verdanken wir schliesslich dem aktiven Wirken des Speläo-Clubs Frankenalb - früher Sulzbach-Rosenberg - dem der Verfasser angehört. Um die wichtigsten zu nennen:

Windloch bei Kürmreuth, Kr. Amberg (Karte Abb. 4, Nr. 21)
Steinbergschacht bei Rinnenbrunn, Kr. Eschenbach (Nr. 22, Abb. 2)
Windloch in der Maximiliansgrotte bei Krottensee, Kr. Eschenbach (Nr. 30)
Weiherholzhöhle bei Waltenhofen, Kr. Regensburg (Nr. 36)
Bismarkgrotte-NW-Schacht bei Rinnenbrunn, Kr. Eschenbach (Nr. 23)
Kleines Reizerloch bei Haunstetten, Kr. Eichstätt (Nr. 38)
Lupperghöhle bei Trondorf, Kr. Sulzbach-Rosenberg (Nr. 31)
Windloch bei Kauerheim, Kr. Hersbruck (Nr. 46)
Silberloch bei Neuessing, Kr. Kelheim (Nr. 37)
Arnthöhle bei Attenzell, Kr. Eichstätt (Nr. 39)

Um die oberfränkischen Spalten und Schächte haben sich 1968 und 1969 besonders Manfred Geyer und Erich Walter hervorgetan. Ihnen gelang, was man kaum mehr für möglich hielt: der Nachweis einer beachtlichen vorgeschichtlichen Strate im Schacht der bekannten Zoolithenhöhle bei Gaillenreuth. Daneben fanden sie im völlig durchwühlten Füllsel zahlreiche Scherben, ja sogar vereinzelt Menschenknochen u.a. solche von Kindern, die die ersten Ausgräber unbeachtet liessen. Zeitstellung: La Tène bis Hallstattzeit, eventuell noch Bronzezeit. Aber auch vor der Abwurfstelle, unterhalb der Fenster, die zum Schacht führen, tritt unter Abraum eine geringmächtige tiefschwarze Lage zum Vorschein, in der Scherben stecken und die die alten Berichte, u.a. den Thomas Grebners von 1748 bestätigt, in welchen von Menschenresten, die überall vor der Schachtöffnung herumgelegen haben sollen, die Rede ist.

Weitere Schächte, wie die Rauenberger Höhle (Nr. 11) mit frühbronzezeitlichen Menschenknochen und Keramik, das Geisloch bei Oberfellendorf (Nr. 12) mit frühneolithischen Belegen sowie die Brunnstein- und Wundershöhle (Nr. 14,15) fügen sich glücklich in die Landschaft zwischen Nürnberg und Bayreuth ein, wo wir auch die Dietersberghöhle und die Esperhöhle finden, ebenso das Felsenloch bei Höfen.

Die Übersichtskarte, nach dem neuesten Stand ergänzt, zeigt die überaus grosse Funddichte im Gebiet der Frankenalb auf. Sie vermittelt darüber hinaus ein eindrucksvolles Bild von der fruchtbaren Tätigkeit mehrerer speläologisch interessierter Gruppen und Vereine.

Wie bereits eingangs bemerkt, gleichen sich die schichtmässigen Befunde im grossen und ganzen. Als markantes Kennzeichen treten beachtliche Holzkohlelagen hervor, dazwischen die Kulturreste und in den meisten Fällen Massen an Geröll. Im Windloch der Maximiliansgrotte z.B. liessen sich noch auf Schutthalden in 30 - 40 Meter Tiefe einwandfrei Holzkohle und Keramik der Urnenfelder Kultur nachweisen. Brannten demnach in den Schächten regelrechte Feuer? Wohl kaum! Zumindest ist dies in den wenigsten Fällen bewiesen. Hingegen scheint es wahrscheinlich, dass brennende Äste und Zweige oder glühende Holzkohle bei bestimmten Anlässen in den Abgrund geworfen wurden. Fortis Alberto beschreibt 1776 derartige dalmatinische Volksbräuche, durch die man Wind herbeibeschwören wollte. Grössere Mengen an Holzkohle in künstlichen Opferschächten Deutschlands und Frankreichs dürften auf ähnliche Weise in dieselben gelangt sein.
Was die oft gewaltigen Geröllhalden anbelangt, so lässt sich naturgemäss ein Steinopfer, wie es in Krain parktiziert wurde, nicht von einem gewöhnlichen Stein, den der Besucher zwecks Auslotung der Tiefe in die Höhle warf, trennen; ebensowenig, wie ein geweihter Weidenzweig sich von einem ungeweihten unterscheidet. Den Brauch, Wetterlöcher mit geweihten Weidenzweigen zu beruhigen, um Unwetter abzuwenden, hat der österreichische Lyriker Peter Rosegger, der aus der Steiermark stammte, noch gekannt.

Eine der merkwürdigsten Entdeckungen machte Otto Kunkel in der Jungfernhöhle bei Tiefenellern. Allen menschlichen Kieferknochen - wobei bemerkt sei, dass es sich überwiegend um jugendliche Individuen und Kinder handelte - fehlten die Zähne der vorderen Gebisspartien. Trotz intensiver Suche waren die Zähne auch im Höhlenfüllsel nicht zu finden. Was geschah mit den Zähnen?
Der Ausgräber fand mit klugem Gespür die Lösung des rätselhaften Befundes. In der griechischen Mythologie erlegt Kadmos mit Steinwürfen einen von Ares abstammenden Drachen. Auf Rat der Göttin Pallas Athene bricht er dem Ungeheuer die Zähne aus und säht sie in die Erde. Sofort gehen aus der Saat bewaffnete Krieger hervor. Die sinnreichste Erklärung gibt uns indessen ein südamerikanisches Mythologem. Dazu Adolf Ellegard Jensen:

> "Nach mehreren Quellen besteht bei den Küstenstämmen der Glaube, dass der Mondgott Pachacamac der Herr auf der Erde ist, während seinem Vater, der Sonne, nur der Himmel untertan ist. Das erste Menschenpaar wurde von Pachacamac erschaffen, ohne dass er für genügend Lebensmittel für beide sorgte. Der Mann starb vor Hunger und seine Frau betete aus Not zum Sonnengott, von dessen Strahlen sie einen Sohn empfing. Der Gott Pachacamac war empört über die Geburt des Kindes, ergriff das Neugeborene, tötete und zerstückelte es. Er sähte die Zähne des Getöteten aus, und es wurde Mais daraus, dessern Körner ja Zähnen gleichen; er säte die Rippen und Knochen aus, aus denen der Maniok entstand. Aus dem Fleische gingen die Kürbisse, Pacayes und alle übrigen Früchte und Bäume hervor."

Der altpflanzerische Glaube, menschliche Körperteile aufs Feld gestreut trügen zum Gedeihen der Feldfrüchte bei, muss weit verbreitet gewesen sein, denn auch die Griechen kannten ähnliche Gebräuche. Reste der Ferkel, die man am Thesmophorienfeste in Felsspalten geworfen hatte, wurden wieder hervorgeholt, auf Altäre gelegt oder unter die Saat gemischt.

Bevor wir uns einige ausländische Fundstellen betrachten, noch etwas mehr zum heute fast völlig erloschenen Brauchtum, von dem uns viel in der Literatur des Barocks und der Renaissance überliefert ist. Neben anderen bekannten Geschichtsschreibern hat besonders Johann Weichard Valvasor, Freiherr von Galleneck und Neudorff, in weitschweifig-barocker Weise die Zeremonie bei der Segnung der Wetterlöcher in Krain, in denen der Teufel das Wetter machen soll, geschildert. Die Überlieferung, dass Steine in Abgründe geworfen fruchtzerstörende Gewitter und Stürme hervorrufen, ist alt und bereits bei Plinius nachzulesen. Sicherlich ist dieser Volksglaube aber noch älter; schon bei den Akkadern im Zweistromland kam Enlil, der Erdgott, als Sturm aus den Tiefen der Erde. In Vergils Aeneis tront König Aol in "weitkreisender" Höhle; u.a. heisst es dort an einer Stelle:

"Dir, o Königin (gemeint ist Juno), ziemt's, nach Herzenslust zu befehlen
Meine Pflicht ist gehorchen. Dies Reich, so weit sich's erstreckt,
Diesen Zepter und Jupiters Huld hab' ich dir zu verdanken,
Dir verdank' ich den Sitz bei der Tafel der Götter, durch dich nur
Bin ich der Stürme und heulenden Ungewitter Beherrscher.
Sprach's und stiess den Zepter verkehrt in die Seite des hohlen Bergs:
Da stürzen, wie Heere gereihet, die Winde, wo immer die Öffnung sie finden, hervor
und durchbrausen in Wirbeln den Erdkreis".

Im Mittelalter und in der frühen Neuzeit senden der Teufel, die Hexen, die Bergdämonen und-geister Stürme und Gewitter aus den unermesslichen Schlünden, werden siedurch einen Steinwurf erbost. Hingegen besänftigen die Berggeister Brot und Kuchen. Der Glaube, der den Wind-, Wetter-, Donner, Dampf- und Rauchlöchern wilde Wetter entsteigen lässt, ist in den Alpenländern weit verbreitet. Erstaunlicherweise treffen wir denselben Volksglauben auch bei den Indianern Mittelamerikas an, denn Johannes de Laet weiss 1633 in seiner "Americae utrusque Descriptio" zu berichten, dass bei dem Dorfe St. Bartholomae in der Provinz Quelenum in Chiapas eine Höhle sei, aus der, sobald man einen Stein hinabwirft, ein heftiger Sturm hervorbräche.
Wind- und Wetterlöcher sind demnach - und dies hat Valvasor bereits richtig erkannt - eng mit den sogenannten Wetterseen verwandt.
Wie vielschichtig das Schachthöhlenbrauchtum sein kann - Schächte, die als Massengräber, Abfallgruben oder Richtstätten dienten, seien hier ausgeklammert - mögen weitere Beispiele darlegen. So beschreibt der römische Schriftsteller Aelian in seiner Naturgeschichte der Tiere einen indischen Opferschacht in den die Eingeborenen in abergläubischer Furcht alljährlich Zehntausende von Tieren hinabwerfen, insbesondere jedoch dann, wenn ihnen Träume oder andere Zeichen Unheil ankündigen. Einen überzeugenden Bericht aus neuerer Zeit verdanken wir dem Altsteinzeitforscher Hugo Obermaier. Unweit der Ras-el-Ma Quellen bei Xauen in Marokko, die Obermaier anlässlich einer Expedition besuchte, öffnete sich eine etwa 20 Meter lange Höhlenspalte, die am Ende in einen tiefen Schacht mündet. Zu nächtlicher Stunde wenden sich in ihr Frauen, insbesondere bei Liebeskummer, auf Geheiss eines Zauberarztes oder einer Wahrsagerin an den im Schacht wohnenden wohltätigen Geiste. Ihm muss ein schwarzes Huhn geopfert werden, dessen Blut in den Schacht geträufelt wird; auch hat sich die Votantin unter bestimmten Zeremonien aus der Höhle zurückzuziehen. Obermaier beobachtete in Nischen der Höhle primitive Behältnisse mit Speisen, daneben Holzkohle und Stummel roter Wachskerzen.

Diese Beispiele seien aus einer Fülle Materials herausgegriffen, hier weitere anzuführen würde den gegebenen Rahmen sprengen.

Doch nun zu den archäologisch wichtigen Parallelfundstellen im Auslande. Zuvor sei eine Bemerkung gestattet:
Die bei uns grabungsmässig gewonnenen Befunde sind in ihrer Zahl noch zu gering, um unmittelbare, absolut sichere Rückschlüsse ziehen zu können. Trotzdem ist es angezeigt, sie einem Vergleich zu unterziehen, um Näheres über die geistig-religiösen Hintergründe zu erfahren. Dasselbe gilt für die alten volkstümlichen Überlieferungen. Von ihnen aus auf vorchristliche Zeiten zu schliessen, birgt verständlicherweise einige Problematik in sich. Der Mythos von den in Höhlen eingeschlossenen Winden der sich zuverlässig ins 3. Jahrtausend von Christus zurückverfolgen lässt, und der Glaube von der in die Unterwelt entführten Muttergottheit unterstreichen die Bedeutsamkeit der sinngemäss oft sehr ähnlichen Sagen und Märchen für die Archäologie und Vorgeschichte.

Es fällt schwer bei der Überfülle französischer, slowenischer und italienischer Schachtfunde sich auf die wichtigsten zu beschränken. Zwei klassische Höhlen, beide im mediterranen Raum, auf Kreta gelegen, mögen ob ihrer geographischen Nähe vorangestellt sein. Zuerst die Idäische Zeusgrotte, die Geburtshöhle Zeus. Ihr mächtiges Eingangsportal führt in 1350 m Seehöhe im Idagebirge schräg abwärts in den Fels, vor dem sich ehemals ein Opferaltar erhob. Im Winter ist das Loch mit Schneemassen angefüllt und unzugänglich. Die einmaligen Funde, vorwiegend Bronzen und Terrakotten lagen überwiegend am Eingang und in der von Holzkohlebändern durchzogenen schrägen Halde. Ein noch besseres Vergleichsobjekt gibt die Höhle von Psychro ab. Diese gliedert sich in zwei Teile: den ebenen Kultraum mit Opferaltar und kleinen Einbauten und den seitlichen Opferschacht, dessen mit Stalaktiten überzogener Boden teilweise unter Wasser reicht. Hier barg der Ausgräber der Höhle, der englische Archäologe David G. Hogarth, eine Unmenge Kleinbronzen und anderer köstlicher Sachen, die er durchaus richtig als "Ex voto objects" erkannte.

Lassen wir die Alte Welt, wenden wir uns der Neuen zu. Auf keinem anderen Kontinent stossen wir auf eindrucksvollere Kultstätten als gerade in Amerika, namentlich in Mexiko. Der heilige Cenote von Chichén Itzá ist jedem, der sich ein klein wenig mit Altamerikanistik befasst hat, ein Begriff. Dass es daneben eine ganze Reihe echter trockener Opferschächte gibt, ist weit weniger bekannt. In unmittelbarer Nähe des Kultzentrums der alten Mayastadt mit der gewaltigen Kukulcan-Pyramide, der Zeremonialstrasse und dem heiligen Brunnen (Cenote) erhebt sich als kleiner Stufentempel das sogenannte Hohepriestergrab. Sein Inneres besteht aus einem senkrechten, rechteckig gemauerten Schacht, der mit einer horizontalen Passage in Verbindung steht. An diesen Höhlengang schliesst sich ein grösserer Naturschacht an, auf dessen Grunde der Archäologe E. H. Thompson einen Schutthaufen mit verbrannten Menschenknochen, Schmucksachen, Idolen und Keramik fand.
Etwas anders, der Höhle von Psychro ähnlich, der Cenote X-Coton in Mayapan. Auch hier ein ebener Kultraum mit Altar und seitlichem Schacht, in dem zahlreiche Skelette, figürliche Gegenstände sowie Tongeschirr fest miteinander versintert entdeckt wurden.
Die Serie mexikanischer und auch kalifornischer Opferschächte liesse sich beliebig fortsetzen.

Man wird ernsthaft die Frage stellen: Geht ein Vergleich Alte Welt - Neue Welt überhaupt an?
Die neueste Hypothese von der Landnahme Mittelamerikas von Südostasien aus dürfte die Bedenken ausräumen. Im übrigen hat bereits Otto Kunkel, das Problem grosszügiger zu behandeln, mit Recht vertreten. Denn nur wenn wir Archäologie, Ethnologie und Prähistorik gleichermassen berücksichtigen, wird es möglich sein, den Schleier des Geheimnisvollen der unsere Schachthöhlen umgibt, etwas zu lüften.

Literatur:

Behm-Blancke, Günter	Höhlen, Heiligtümer, Kannibalen. Archäologische Forschungen im Kyffhäuser. Leipzig 1958
Bertarelli - Boegan	Due mila Grotte. S. 97 ff, Milano 1926
Carthaus, Emil	Über die Ausgrabungen in der Veledahöhle unweit Velmede imoberen Ruhrtal. Prähistorische Zeitschrift, 3, H.1/2, 1911. S. 132-144
Erl, Josef Richard	Die Dietersberghöhle bei Egloffstein. Abhandlungen der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg, Bd. XXVI, H. 5. 1953
Geyer, M., Moser, M., Walter, E.	Prähistorische Forschungen in Schachthöhlen Oberfrankens. Die Höhle 1969 (in Vorbereitung)
Halbherr und Orsi	Antichita dell antro di Zeus Ideo. 1 Band mit Atlas, Firenze 1888
Hatt, R. T. and others	Faunal and archaeological researches in Jucatan Caves. Cranbrook Inst. Science, Bull. 33, Bloomfield Hills, Michigan, 1953
Hogarth, David G.	The Dictacan Cave (Höhle bei Psychro). The Annual of the British School at Athens, vol. VI, 1899-1900
Joly, R. de	Notes et observations d'un spéléologue. Bull. de la Société Préhistorique Francaise, 36, S. 251, Le Mans 1939
Kunkel, Otto	Die Jungfernhöhle bei Tiefenellern - Eine neolitische Kultstätte auf dem Fränkischen Jura bei Bamberg. München 1955
Maier, Rudolf Albert	Eine vorgeschichtliche Felsspaltenfüllung im Fränkischen Jura mit Sach-, Tier- und Menschenresten. Bayer. Vorgeschichtsblätter, München 1965
Moser, Manfred	Schachthöhlen als Kult- und Opferstätten. Die Höhle, 19, H. 1, S. 6-20, Wien 1968
Moser, Manfred	Die Grundfelsenhöhle bei Gaisheim, Kreis Sulzbach-Rosenberg, ein vorgeschichtlicher Opferschacht. Beiträge zur Oberpfalzforschung, 3, Kallmünz 1969
Obermaier, Hugo	Die Opferhöhle von Ras-el-Ma bei Xauen (Marokko). Mitteilungen über Höhlen- und Karstforschung, Zeitschrift des Hauptverbandes Deutscher Höhlenforscher, Jahrg. 1928, H. 1
Smith, R. E.	Cenote X-Coton at Mayapan. Current Report Nr 5. Carnegie Institution Washington, Cambridge, Mass. 1953

Szombathy, Josef	Altertumsfunde aus Höhlen bei St. Kanzian im österreichischen Küstenlande (bei Triest). Mitteilungen der prähistorischen Kommission der Akademie der Wissenschaften, Bd. 2, Wien 1913
Thompson, E. H.	The high priest's grave Chichen Itza, Jucatan, Mexiko. Field Mus. Natural Hist. Anthrop. Sev., vol. 27, Nr. 1, Chicago 1938-1940
Tozzer, A. M.	Chichen Itza and its cenote of sacrifice: a comparative study of contemporaneous Maya and Toltec. (umfassender Literaturnachweis über Cenote). Mem. Peabody Mus. Harvard Univ. 1957
Vollrath, Friedrich	Zur Frage der Bestattungen in Schachthöhlen der Frankenalb. Mitteilungen des Verbandes der Deutschen Höhlen- und Karstforscher, 13. Jahrg., H. 1, 1967
Wallace, William J.	The mortuary caves of calaveras County, California. Archaeology, 4, H. 4, 1951, S. 199-203

Diskussion:

M. A. GEYH (Hannover): 1. Zu den Schwierigkeiten der Beurteilung von Knochenfunden aus Schachthöhlen ohne andere datierbare Begleitfunde sei bemerkt, dass neuerdings auch mit Knochenmaterial von einigen Jahrtausenden Alter sehr zuverlässige Radiokohlenstoff-Altersbestimmungen (Radiokarbonatuntersuchungen) durchgeführt werden können. Es sind dazu zwischen 100 bis 500 g Material notwendig. Noch besser eignet sich Holzkohle. Selbstverständlich sollen nur stratigraphisch gesicherte Funde untersucht werden, sofern nicht die Festlegung der Benutzungszeiträume mit Hilfe einer Statistik von C^{14}-Daten angestrebt wird und möglich ist.
In diesem Zusammenhang sei der Wunsch vorgetragen, von eingesinterten Holzkohlehorizonten sowohl je eine Probe von der über- und unterlagernden Sintersdhicht (ca. 10 bis 50 g) als auch der Holzkohle für Eichzwecke der C^{14}-Zeitskala von Kalksinter zur Verfügung zu stellen. Ebenso geeignet sind eingesinterte Knochen oder datierbare Scherben. Letztere können dem Finder nach Entfernung der Kalkausfällung zurückgegeben werden. Die Proben können an das C^{14}-Labor des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, D 3000 Hannover-Buchholz, Postfach 54, gesandt werden. Eine kurze Beschreibung der Entnahmesituation ist erwünscht.

MOSER: Die genaue Altersbestimmung der Funde mittels C^{14}-Daten ist sicherlich wichtig. Für die Beurteilung der Befunde in vielen Schächten, wo Menschen- und Tierknochen mit Keramik und wertvollen Beigaben oder Opfergaben beisammenliegen und die in der Regel an Hand der Scherben einigermassen datierbar sind, ist die genaue Zeitstellung m.E. von sekundärem Interesse.
In vielen Schachthöhlen Oberfrankens z.B., die in der Romantik und auch später noch den Touristen zugänglich gemacht wurden, ist heute an ungestörten Sedimenten sowieso kaum mehr etwas vorhanden.

M. A. GEYH (Hannover): 2. Das geringe Interesse an absoluten Altersbestimmungen an Funden aus Schachthöhlen ist bedauerlich. Es sollte in Betracht gezogen werden, dass die heutige Forschergeneration der älteren den Vorwurf macht, durch oberflächliche Ausgrabungen einen grossen Teil der in den Schachthöhlen eingeschlossenen kulturgeschichtlichen Informationen unwiederbringlich zerstört zu haben. Man sollte daraus lernen und nicht den gleichen Fehler begehen, indem man nicht alle heute zur Verfügung stehenden Hilfsmittel und Methoden zur vollständigen Auswertung des Fundgutes anwendet.

MOSER: Bei den heutigen Grabungen sollte es selbstverständlich sein, dass alle wissenschaftlichen Möglichkeiten ausgeschöpft werden. Besonderes Interesse gilt, gerade was die Holzkohlen anbetrifft, der Bestimmung der einzelnen Hölzer, die man beim Bestattungs- oder Opferritual verbrannte. Diesbezüglich erbrachte die Bestimmung der Holzkohle aus der Dietersberghöhle bei Egloffstein interessante Ergebnisse.

K. EHRENBERG (Wien): Offene Schächte sind Tierfallen. Solange sie offen sind, kann und wird sich in ihnen Material an Knochen sehr verschiedenen Alters sammeln können. Zur Analyse wäre daher die C^{14}-Datierung der Knochen wesentlich.

MOSER: Es ist bekannt, dass Schachthöhlen besonders in Kriegszeiten oft als Massengräber dienten; dazu kommen zahlreiche Unglücksfälle. Es steht überhaupt ausser Zweifel, dass es sich bei vielen Höhlen dieser Art im weitesten Sinne um Grabhöhlen handelt. Bei einer ganzen Reihe aber geben merkwürdige Befunde und auch die eigentümlichen Sagen und Gebräuche zu denken. Die z.T. massenweise gefundenen Votivgaben (Grotta delle Mosche b. St. Kanzian, Höhle von Psychro, Kreta) sprechen jedenfalls für ein intensiv gepflegtes Brauchtum und seltsame Unterweltsvorstellungen.

V e r ö f f e n t l i c h u n g e n

des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V, München

zu beziehen durch die FR. MANGOLD'SCHE BUCHHANDLUNG, D 7902 Blaubeuren, Karlstrasse 6, Postfach 37

JAHRESHEFTE FÜR KARST- UND HÖHLENKUNDE (Mitgliederpreise in Klammern)

1. Heft 1960: "Karst und Höhlen im Gebiet der Brenz und der Lone (Schwäb. Alb)" - XXIII u. 274 S.,143 Abb.,1 Karte 1 : 50 000. - 8.- DM (6.80 DM).
2. Heft 1961: "Karst und Höhlen in Westfalen und im Bergischen Land" - XXII u. 297 S., 106 Abb., 1 Faltkarte. - 8.20 DM (6.90 DM).
3. Heft 1962: "Das Laubensteingebiet im Chiemgau - seine Landschaft, seine Höhlen und Karsterscheinungen" - XVIII u. 338 S., 90 Abb., 12 Beil. (1 geol. Karte 1 : 12 500). - 11.50 DM (9.50 DM).
4. Heft 1963: "Vom Wasser und von den Höhlen der mittleren Schwäbischen Alb (östl. Teil)" - XXXII u. 384 S., 153 Abb., 1 Karte 1 : 50 000 u. 5 Beil. - 12.80 DM (10.90 DM).
5. Heft 1964: "Fachwörterbuch für Karst- und Höhlenkunde (Speläologisches Fachwörterbuch)" - vergriffen.
6. Heft 1965: "Die Alblandschaft zwischen Rosenstein und Wasserberg" - XX u. 192 S., 72 Abb., 1 Karte 1 : 50 000 - 7 Beil. - 12.- DM (10.50 DM).
7. Heft 1966: "Die nördliche Frankenalb - ihre Geologie, ihre Höhlen und Karsterscheinungen", 1. Bd. - XVIII u. 118 S., 30 Abb., 1 Karte 1 : 50 000 - 13.50 DM (11.50 DM).
8. Heft 1967: "Die nördliche Frankenalb - ihre Geologie, ihre Höhlen und Karsterscheinungen", 2. Bd.: "Die Höhlen des Karstgebietes A Königstein" - XVIII u. 196 S., 1 Abb. - 11.50 DM (10.- DM).
9. Heft 1968/69: "Der Südharz - seine Geologie, seine Höhlen und Karsterscheinungen" - XVI u. 112 S., 27 Abb., 2 Tab., 4 Beil. - 10.80 DM (9.50 DM).
10. Heft : "Mittlere Schwäbische Alb (Arbeitstitel).

BIBLIOGRAPHIE FÜR KARST- UND HÖHLENKUNDE IN DEUTSCHLAND

Nr. 1 (1959) vergriffen, Nr. 2 (1960) - Nr. 10 (1969) 1.20 - 2.40 DM (-.80 - 1.60 DM).

SCHAUHÖHLEN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (vergriffen)

ABHANDLUNGEN ZUR KARST- UND HÖHLENKUNDE

Reihe A (Speläologie)

Heft 1 (1966): HENNE & KRAUTHAUSEN: "Eine seismische Methode zur Ortung geologischer Feinstrukturen des Untergrundes" - 16 S, 6 Abb. - 3.- DM.

Heft 2 (1966): GERSTENHAUER & PFEFFER: "Beiträge zur Frage der Lösungsfreudigkeit von Kalkgesteinen" - 46 S.,10 Diagr. - 5.-DM.

Heft 3 (1968): ADAM, BINDER, BLEICH & DOBAT: "Die Charlottenhöhle bei Hürben" - 54 S., 32 Abb., 3 Tab., 1 Plan - 2.- DM.

Heft 4 (1969): BINDER, BLEICH & DOBAT: "Die Nebelhöhle (Schwäbische Alb)" - 55 S., 36 Abb., 1 Tab., 1 Plan - 2.50 DM.

Heft 5 (1969): GERSTENHAUER: "Die Karstlandschaften Deutschlands" - 8 S., 1 zweifarbige Karte - 3.50 DM.

Heft 6 (1972): "Das Gipskarstgebiet bei Düna" (Arbeitstitel).

Heft 7 (1972): SCHMID, STIRN & ZIEGLER: "Die Olgahöhle in Honau" - 53 S., 28 Abb., 4 Tab., 1 Plan - 2.50 DM.

Reihe B (Hydrologie)

Heft 1 (1969): HERRMANN: "Die geologische und hydrologische Situation der Rhumequelle am Südharz" - 6 S.,2.Abb. - 1.- DM.

Reihe C (Vor- und Frühgeschichte, Anthropologie)

Heft 1 (1971): DOMNING: "Zur Technik der Eiszeitmalereien im franco-cantabrischen Raum" - 26 S., 12 Abb.(4 farbig) - 5.- DM.

Reihe E (Botanik)

Heft 1 (1964): STIRN: "Kalktuffvorkommen und Kalktufftypen der Schwäbischen Alb" - 92 S., 23 Abb.,3 Prof. - 7.50 DM.

Heft 2 (1965): GRÜNINGER: "Rezente Kalktuffbildung im Bereich der Uracher Wasserfälle" - 113 S., 31 Abb., 9 Tab. - 8.- DM.

Heft 3 (1966): DOBAT: "Die Kryptogamenvegetation der Höhlen und Halbhöhlen der Schwäbischen Alb" - 153 S., 79 Abb., 21 Tab. i. Text, 14 Tab. u. 1 Karte als BEIL. - 13.5o DM.

Reihe F (Geschichte der Speläologie, Biographien)

Heft 1 (1967): BERGER: "David Friedrich Weinland" - 32 S., 1 Abb. - 3.- DM.

Heft 2 (1967): BAUER: "Alte Höhlenansichten der Fränkischen Alb" - 36 S., 19 Abb. auf Tafeln - 7.- DM.

Heft 3 (1969): GRIEP, LAUB & STOLBERG: "Harzer Höhlen in Sage und Geschichte" - 34 S. - 3.- DM.

Kleiner Führer zu den Exkursionen der 14. Jahrestagung des Verbandes der Deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V., München, vom 8. bis 1o. Oktober 1971 in Kolbingen, Kreis Tuttlingen - 21. S., 8 Abb. - 2.5o DM (2.- DM).

5. INTERNATIONALER KONGRESS FÜR SPELÄOLOGIE STUTTGART 1969

Exkursionsführer Schwäbische Alb, Fränkische Alb, Bayerische Alpen, Dachstein, Tennengebirge - 92 S., 14 Abb. 1o.-DM (3.8o DM).

Exkursionsführer Schweiz - 47 S., 25 Abb. - 5.- DM (2.- DM).

Abhandlungen

Band 1: Morphologie des Karstes

Band 2: Speläogenese I

Band 3: Speläogenese II / Höhlenbesiedelung

Band 4: Biospeläologie

Band 5: Hydrologie des Karstes

Band 6: Dokumentation / Höhlentouristik.