

1rod/230

KARSZT- ÉS BARLANGKUTATÁS, BD. III. JHG. 1961.

Separatum

L. JAKUCS

Über die Färbung der Tropfsteine in den Höhlen

BUDAPEST

1962

ÜBER DIE FÄRBUNG DER TROPFSTEINE IN DEN HÖHLEN

Von

DR. I. JAKUCS

Geologe, Kandidat der geographischen Wissenschaften

Vorliegender Aufsatz gibt eine zusammenfassende Darstellung derjenigen Untersuchungsergebnisse, welche in vieljähriger, die Genetik der Tropfsteinfärbung betreffender Arbeit des Verfassers in den zwei grössten Tropfsteinhöhlen Ungarns, der Aggteleker *Baradla-* und *Béke-Höhle* (Friedenshöhle), erhalten wurden.

I. SYNGENETISCHE URSACHEN DER FÄRBUNG DER TROPFSTEINBILDUNG

Bei der Untersuchung der Färbungen der in der Baradla- und Béke-Höhle vorhandenen sekundären kalkigen Mineralausscheidungen, Stalaktiten, Stalagmiten und Kalktuffanhäufungen, müssten wir jene, offensichtlich chemischen bzw. mineralogischen Eigenschaften erforschen, welche mit den verschiedenen Farben im Kausalzusammenhang stehen.

In der internationalen Fachliteratur werden die Farben der Tropfsteine – das Rot, das Gelb, das Braun – durch den Eisengehalt der betreffenden Bildung derart gedeutet, dass je höher der Eisengehalt eines Sinters ist, umso dunkelbrauner bzw. dunkelroter auch seine Farbe sein soll. Genaue zahlenmässige Angaben, aus denen die für die Entstehung irgendeiner Farbe erforderliche minimale Menge des Eisenoxys hervorginge, sind in der Literatur aber leider nicht bekannt. Es gibt auch sehr wenig Literaturangaben die auf die farbenerzeugende Rolle des Manganoxys hinweisen; die dennoch vorhandenen wenigen Angaben beziehen sich in erster Linie auf die in vielen Höhlen an der Oberfläche der Bildungen beobachtbare bläulich, schwärzlich oder lilabräunlich getönte *Kruste*. Diese krustenartigen, dunkelfarbenen Überzüge stellen aber in allen Fällen sekundäre, postgenetische, oberflächliche Bildungen dar, einerlei ob sie organischen oder anorganischen Ursprungs sind. Sie sind sogar vor allem nicht auf den Tropfsteinen, sondern viel öfters auf der Oberfläche des Höhlenbodens, auf den Schotterablagerungen der Höhlenbäche und auf allen Wänden zu beobachten. Mit letzterem Phänomen werden wir uns später noch eingehender befassen.

Unter *syngenetischer Färbung* der Tropfsteine verstehen wir nicht die Farbe der oberflächlichen Kruste oder der dünnen oberflächlichen Schicht, sondern die innere Farbe der Tropfsteinmasse, welche in allen Fällen für die ganze Periode des Wachstums für die chemisch gelösten oder die physikalisch beigemengten Verunreinigungen des

den Tropfstein absetzenden Wassers charakteristisch ist. Diese innere, „strukturelle“ Farbe des Tropfsteines stimmt mit der Farbe der gegenwärtigen Oberfläche nur zufällig überein (z.B. in allgemeinem in der Béke-Höhle), jedoch weicht sie davon in anderen Höhlen, so z.B. in der Baradla-Höhle, in den meisten Fällen ab.

In den Aggteleker Höhlen kommen, hinsichtlich ihrer Färbung, praktisch folgende Tropfsteinarten vor:

| No des Typs | Typusbenennung |
|-------------|--|
| 1..... | farblos, durchsichtig, glasartig |
| 2..... | milchweiss |
| 3..... | crémegelb |
| 4..... | orangengelb |
| 5..... | rosarot |
| 6..... | hellbraun |
| 7..... | rötlichbraun |
| 8..... | karminrot |
| 9..... | inhomogen (abwechselnd verschiedenfarbige Ringe) |

Naturgemäss bezeichnen obige Benennungen nur die Grundtypen. Innerhalb dieser Gruppen können zur gleichen Zeit, mit reicher Mannigfaltigkeit, alle Skalen der Übergänge aus einem Typ in den anderen vertreten sein. Zwecks Erleichterung unserer Untersuchungen hat sich aber diese ziemlich subjektive Gruppierung als notwendig erwiesen und sie hat sich, wie das die gewonnenen Ergebnisse beweisen, als sehr nützlich erwiesen, denn sie ermöglichte, trotz ihrer Subjektivität, die Erkennung von mehreren objektiven Gesetzmässigkeiten.

An den Tropfsteinen der Baradla- und Béke-Höhle wurden, diesen Farbengruppen gemäss, folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Chemische Untersuchung nach Farbengruppen.
- Untersuchungen des spezifischen Gewichtes nach Farbengruppen.
- Bestimmung der Häufigkeitsverteilung nach Farbengruppen.
- Untersuchung der Ursachen der augenfälligen Abweichungen von dem durchschnittlichen Verhältnis der Häufigkeitsverteilung in einigen Höhlenabschnitten.
- Untersuchung des Zusammenhanges der Grösse der Tropfsteinbildungen und der Häufigkeitsprozent der einzelnen Farbengruppen.

Im nachstehenden wollen wir nun die Ergebnisse der nach obigen Gesichtspunkten durchgeführten Untersuchungen der Reihe nach besprechen.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate der vollkommenen chemischen Analyse von je drei typischen Proben jeder der 9 Farbengruppen, mit Anführung der Angaben des spezifischen Gewichtes zusammengestellt (Siehe Tabelle I.).

Übersetzung der in Tabelle I. vorkommenden ungarischen Ortsbenennungen:

Retekág = Rettichast. Csodák-terme = Saal der Wunder. Meseország = Märchenland. Cseppkővoda = Tropfsteinkindergarten. Kúszóág közelében = in der Nähe des Klettererastes. Cseppkőkapolna = Tropfstein-kapelle. Felfedezőág torkolata = Mündung des Entdeckungstastes. Színpadterem = Bühnensaal. Felfedezőág közepe = Mitte des Entdeckungstastes. Kötélhágcsós szifon = Strickleitersyphon. Óriások terme = Saal der Riesen. 32-es omlás = Einsturz von 1932. Retegág közepe = Mitte des Rettichastes. Vaskapu = Eisernes Tor. Jósavfői középtúra = Jósavföer mittlere Tour. Vörösterem I. = Roter Saal I. Vörösterem II. = Roter Saal II. Honvédterem = Honvédsaal. Bejárat = Eingang.

Tabelle I.

| Farbengruppe | Ort der Probe | Ca CO ₃ | Mg CO ₃ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | Mn O | SiO ₂ % | Ges. % | Spez. Gew. |
|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------|--------|------------|
| 1 Farblos, durchsichtig, glasartig | Retekág, Csodák-terme | 98,4 | 1,5 | — | — | — | Sp. | 99,9 | 2,76 |
| | Meseország | 97,3 | 2,5 | — | — | — | 0,1 | 99,9 | 2,75 |
| | Békebarlang, Cseppkővoda | 99,6 | 0,2 | — | — | — | — | 99,8 | 2,73 |
| 2 Milchweiss, undurchsichtig | Retekág: Kúszóág közelében | 99,2 | 0,8 | — | — | — | 0,1 | 100,1 | 2,68 |
| | Meseország | 97,0 | 2,9 | — | — | — | Sp. | 99,9 | 2,65 |
| | Békebarlang, Cseppkőkapolna | 99,7 | 0,2 | — | — | — | 0,1 | 100,0 | 2,69 |
| 3 Crémegelb | Baradla: Magyarok bejövetele | 98,0 | 1,5 | — | 0,3 | — | 0,1 | 99,9 | 2,70 |
| | Meseország | 97,7 | 2,0 | — | 0,1 | — | 0,2 | 100,0 | 2,69 |
| | Békebarlang: Felfedezőág torkolata | 98,7 | 0,8 | — | 0,4 | — | 0,2 | 100,1 | 2,71 |
| 4 Orangengelb | Baradla, Színpadterem | 89,3 | 10,1 | Sp. | 0,4 | — | 0,3 | 100,1 | 2,68 |
| | Meseország | 97,5 | 2,0 | — | 0,2 | — | Sp. | 99,7 | 2,66 |
| | Békebarlang, Felfedezőág közepe | 98,0 | 0,7 | — | 0,8 | Sp. | 0,4 | 99,9 | 2,70 |
| 5 Rosarot, durchsichtig | Meseország | 98,6 | 1,2 | — | Sp. | Sp. | Sp. | 99,8 | 2,75 |
| | Meseország | 98,1 | 1,8 | — | Sp. | — | — | 99,9 | 2,74 |
| | Békebarlang, Kötélhágcsós szifon | 97,4 | 2,3 | — | 0,1 | Sp. | 0,1 | 99,9 | 2,74 |
| 6 Hellbraun | Óriások-terme | 86,2 | 7,4 | 2,1 | 2,2 | Sp. | 2,2 | 100,1 | 2,58 |
| | Óriások-terme | 89,8 | 3,8 | 1,3 | 3,0 | 0,2 | 1,7 | 99,8 | 2,51 |
| | Retekág, 32-es omlás | 96,0 | 0,2 | 0,4 | 2,3 | 0,1 | 0,8 | 99,8 | 2,63 |
| 7 Rötlichbraun | Retekág közepe | 76,9 | 0,3 | 7,8 | 3,4 | 0,3 | 11,0 | 99,7 | 2,55 |
| | Óriások-terme | 77,0 | 7,7 | 5,1 | 2,3 | Sp. | 7,6 | 99,7 | 2,60 |
| | Békebarlang, Vaskapu | 81,0 | 2,4 | 3,4 | 5,1 | 0,1 | 7,7 | 99,7 | 2,51 |
| 8 Karminrot | Baradla, Jósavfői középtúra | 98,2 | Sp. | — | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 99,6 | 2,71 |
| | Békebarlang | 88,0 | 0,2 | 0,1 | 7,3 | 1,1 | 3,0 | 99,7 | 2,70 |
| | Békebarlang Vörösterem II | 98,9 | Sp. | Sp. | 0,7 | 0,3 | Sp. | 99,9 | 2,75 |
| 9 Inhomogen | Baradla, Honvédterem | 92,3 | 1,1 | 2,2 | 1,4 | Sp. | 2,8 | 99,8 | 2,58 |
| | Óriások-terme | 77,4 | 10,5 | 4,0 | 2,2 | Sp. | 3,9 | 100,0 | 2,66 |
| | Békebarlang, Bejárat | 88,1 | 1,1 | 3,6 | 4,7 | 0,1 | 2,3 | 99,9 | 2,53 |

Aus den in der Tabelle angeführten Analysen können folgende allgemeine Schlüsse gezogen werden:

A) Zwischen der chemischen Zusammensetzung des glasartig reinen, durchsichtigen Tropfsteins (Gruppe 1) und des milchweissen, kompakten Tropfsteines der Gruppe 2 ist kein Unterschied vorhanden. Auf Grund des im spezifischen Gewicht zu verzeichnenden, etwa 0,1 betragenden Unterschiedes müssen wir die Ursache des Farbenunterschiedes auf Unterschiede der kristallinen Struktur, bzw. auf die in der Textur des weissen Tropfsteines eingeschlossenen, fein verteilten Gaseinschlüsse zurückzuführen. Die farblosen und weissen Tropfsteine der Aggteleker Höhlen, welche fast ausnahmslos eine stark kristalline Struktur besitzen, können vom mineralogischen Gesichtspunkt aus als ideal reiner Kalzit betrachtet werden. Ihr eventueller $MgCO_3$ -Gehalt ist gering und isomorph beigemischt, so dass er hinsichtlich der Durchsichtigkeit keine Rolle spielt.

B) Die verschiedenen gelben und orangengelben Tropfsteine erhalten ihre Farbe, vollkommen unabhängig vom $MgCO_3$ -Gehalt, von dem in einigen Zehntelprozenten anwesenden, in der Textur äusserts fein, fast kolloidal verteilten Eisenoxyd-gehalt.

C) Den Ursprung der Rosafarbe der durchsichtigen Tropfsteine konnten wir auf chemischen Wege nicht erfassen. Die untersuchten Exemplare dieser Tropfsteine erweisen sich als ideal reiner Kalzit, mit kaum merkbaren zufälligen Spuren an Eisen und Mangan. Auf Grund ihres hohen spezifischen Gewichtes kann die Gruppe mit den Tropfsteinen der ersten Gruppe in engere Verwandtschaft gestellt werden.

D) Die braune Farbe der Tropfsteine ist eine Folge des ein paar Prozente betragenden Eisenoxydgehaltes. In den braunen Sinterbildungen ist aber die Anwesenheit des die Farbentönung bewirkenden Eisenoxyds gesetzmässig an andere, hauptsächlich Al-führende und silikatische Tonminerale gebunden. Der Al- und SiO_2 -Gehalt kann sich bei den dunkleren Farbentönen (siehe die Probe der Gruppe 7 aus dem Rettichast) als Folge erhöhter toniger Verunreinigung besonders anreichern. Das verhältnismässig sehr geringe spezifische Gewicht weist auf einen weniger dichten, lockereren strukturellen Aufbau hin, denn auf Grund der chemischen Zusammensetzung hätte man eigentlich auf ein höheres spezifisches Gewicht rechnen können. Der in Summe einige Zehntelprozent betragende Verlust ist aller Wahrscheinlichkeit nach durch erhöhte akzessorische Beimengungen des nicht bestimmtem Kaliums und anderer Leichtmetalle zu erklären.

E) Die blutrote oder karminrote Farbe müssen wir durch die in der Menge von 0,3–1,1% nachgewiesene Anwesenheit des Mangans erklären. Der Eisengehalt kann bei diesen Farben nur eine untergeordnete Rolle spielen. Diese Tatsache wird hauptsächlich durch den Umstand deutlich, dass die aus der Béke-Höhle entnommene Probe der 4. (orangengelben) Gruppe bei 0,8% Eisengehalt und gleichzeitigem Fehlen an Mangan nur gelblich ist, während die Proben 1. und 3. der Gruppe 8 mit gleichen Eisengehalt, aber bei 0,3–0,4% Anwesenheit des Mangans intensiv rotgefärbt sind.

F) Die inhomogen gefärbten Tropfsteine zeigen verschieden gefärbte konzentrische Ringe von verschiedener chemischer Zusammensetzung, welche im Querschnitt den Jahresringen des Holzes ähnlich erscheinen. Diese Erscheinung weist auf häufige Änderung der chemischen Zusammensetzung des Wassers im Laufe des Tropfsteinwachstums hin. Für die einzelnen verschieden gefärbten Schichten ist die bei den Farbengruppen angegebene chemische Zusammensetzung charakteristisch. Statistisch

genommen können sich bei der Untersuchung des ganzen Tropfsteines, naturgemäss, die mannigfaltigsten Resultate ergeben. In dieser Gruppe sind viele Sinter bekannt, in deren Inneren nicht nur Schichten verschiedener Farbe und verschiedenen spezifischen Gewichtes abwechseln, sondern auch Sinterschichten durch Tonschichten abgelöst werden. In solchen Fällen beträgt der Kalkgehalt des Tones oft kaum 1–2%. Die Tonschicht wird dann wiederum mit einer Kalzitschicht bedeckt und dieses Phänomen kann sich sogar 5–6-mal wiederholen. Es ist nicht selten derart ausgeprägt, dass der abgebrochene Stalaktit entlang der in seinem Inneren befindlichen plastischen Tonschichten kapselartig zu mehreren ineinander verschiebbaren Hülisen auseinander gezogen werden kann.

Sehr interessante Ergebnisse ergaben sich auch bei der Untersuchung der prozentuellen Häufigkeit des Auftretens der in die verschiedenen Farbengruppen gehörigen Tropfsteine.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass diese Untersuchungen ausschliesslich an hängenden Tropfsteinen, an Stalaktiten, durchgeführt wurden und die Stalagmiten überhaupt nicht in Betracht gezogen wurden. Die Bearbeitung der Stalagmiten hätte nämlich unsere Ergebnisse verfälscht, bzw. ein irreführendes Bild gegeben und Bewertungsschwierigkeiten verursacht. Von den Stalaktiten abweichend bildeten sich nämlich die Stalagmiten nicht in allen Höhlenteilen aus, wo sie sich auf Grund der chemischen Zusammensetzung des abtropfenden Wassers ausbilden hätten müssen. In den wasserführenden Höhlen (Bachhöhlen), wie z.B. in der Baradla-Höhle, fällt das abtropfende Wasser in den Bach und baut keine Stalagmiten auf. In der Baradla-Höhle treffen wir massenhafte Stalagmitenvorkommen in erster Linie an solchen Stellen (z.B. Säulenhalle, Tigtersaal, Konzertsaal, Märchenland, Wundersaal, usw.) wo nicht einmal während der periodischen Überschwemmungen Wasser über dem Boden fliesst. Da die Vorkommensmöglichkeiten der Stalagmiten durch die hydrographischen Verhältnisse des Höhlenbaches ausschlaggebend bedingt sind, konnten wir diese Gruppe der Tropfsteine bei unseren Untersuchungen, die unter Ausschliessung aller störenden Umstände, die Klärung der lokalen Häufigkeitsverteilung der Tropfsteintypen zum Ziele hatten, nicht in Betracht ziehen.

Es wurden insgesamt 14 335 Stalaktiten der Baradla- und der Béke-Höhle untersucht. Die Feststellung der Häufigkeitsprozente der Farbentypen der Stalaktite ergab die in Tabelle II. zusammengefassten Resultate.

Aus dieser Tabelle geht sofort hervor, dass in den Aggteleker Höhlen die Stalaktiten des inhomogenen Farbentyps mit 43,5% am häufigsten sind. Es folgen die rötlich-braunen und hellbraunen Tropfsteine mit 11,8 bzw. 12,4%. Ebenfalls hoch ist die Häufigkeitsrate der cremegelben und homogenen orangengelben Tropfsteine (10,5 bzw. 10,9%.) Farbstoff der bisher angeführten Tropfsteine ist das Eisenoxyd. Auf Grund obiger Angaben kann man die prozentuelle Verteilung der Tropfsteine der Aggteleker Höhlen, mit Bezug auf die Qualität des Farbstoffes, mit folgenden Werten angeben (Tabelle III.):

Schon aus der Tabelle der prozentuellen Häufigkeit der Farbengruppen geht deutlich hervor, dass das Verteilungsverhältnis des Vorkommens der verschieden gefärbten Tropfsteine nicht in allen Teile der Höhle gleich ist. Besonders überraschend ist der relative Mangel an „Glasstalaktiten“ im Hauptast der Baradla-Höhle. Letzteres Phänomen können wir vor allem der „Kultur“ zur Last legen, denn seitdem Menschen die Baradla-Höhle besuchen, befriedigen sie ihre Sammel- und Zerstörungsleidenschaft vorzugsweise mit diesen Stalaktiten.

Tabelle II

| Farbengruppen | Baradla Hauptast | Rettichast | Märchenland | Béke-Höhle | Allgemeiner Durchschnittswert |
|-----------------------|------------------|------------|-------------|------------|-------------------------------|
| Anzahl der Proben | 4680 | 3727 | 816 | 5112 | 14 335 |
| 1. Farblos | 0,4% | 7,6% | 10,5% | 13,0% | 7,7% |
| 2. Milchweiss | 0,5% | 0,3% | 1,0% | 1,0% | 0,8% |
| 3. Crémegelb | 7,9% | 10,2% | 12,8% | 11,3% | 10,6% |
| 4. Orangengelb | 4,3% | 9,1% | 15,3% | 14,8% | 10,9% |
| 5. Rosarot | 0,0% | 0,2% | 0,8% | 0,2% | 0,3% |
| 6. Hellbraun | 16,5% | 11,4% | 8,7% | 10,7% | 11,8% |
| 7. Rötlichbraun | 14,9% | 12,8% | 9,7% | 12,6% | 12,4% |
| 8. Karminrot | 1,1% | 1,3% | 0,1% | 4,9% | 1,9% |
| 9. Inhomogen | 54,4% | 47,1% | 41,1% | 31,5% | 43,6% |
| Insgesamt | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Tabelle III.

| Färbendes Mittel | Prozent der Häufigkeit |
|---------------------------|------------------------|
| Luft | 0,8 |
| Eisenverbindungen | 89,3 |
| Manganverbindungen | 1,9 |
| Unbekannte Substanz | 0,3 |
| Ohne Färbung | 7,7 |
| Insgesamt | 100,0 |

Von dieser „Kulturtätigkeit“ abgesehen liegen aber auch wichtige natürliche physikalische Ursachen diesen Unterschieden zugrunde. Für uns war nun eben die Erkenntnis dieser physikalischen Ursachen von entscheidender Bedeutung. Um diese Ursachen gründlich zu durchschauen, müssen wir die Ergebnisse unserer Stalaktituntersuchungen, von welchen wir bisher nur die Schlusssaufstellungen angeben haben, bis in die Einzelheiten zitieren. Im Laufe unserer Beobachtungen und Erhebungen haben wir nämlich die Erfahrung gemacht, dass auch innerhalb ein und derselben Höhle, ja sogar eines Höhlenabschnittes grosse und kennzeichnende lokale Unterschiede in der Färbungsverteilung der Stalaktite bestehen. Zur Versinnlichung dieser Tatsache genügt ein einziges Beispiel.

In nachstehender Tabelle werden die Verhältnisnummern der verschiedenen Farbentypen der Tropfsteine des Roten Saales I. der Béke-Höhle mit dem Durchschnitt der Béke-Höhle verglichen (Tabelle IV.).

Im Vergleich der zwei Kolonnen tritt unbestreitbar am augenfälligsten der dominante Charakter der Farbengruppe 8 des Roten Saales hervor. Die in diesem Saal hängenden 68 von Mangan gefärbten karminroten Stalaktiten stellen nämlich 27,7% der insgesamt 250 karminroten Tropfsteine der Béke-Höhle dar. Tatsächlich gibt es in

Tabelle IV.

| Farbengruppe | Béke-Höhle, Roter Saal I. 286 Proben | Mittelwert der Béke-H. auf Grund 5112 Proben |
|--------------|---|---|
| 1. | 3,5% | 13,0% |
| 2. | 2,3% | 1,0% |
| 3. | 5,0% | 11,3% |
| 4. | 11,8% | 14,8% |
| 5. | 0,0% | 0,2% |
| 6. | 4,2% | 10,7% |
| 7. | 16,7% | 12,6% |
| 8. | 23,6% | 4,9% |
| 9. | 32,9% | 31,5% |

der Béke-Höhle z.B. kilometerlange Strecken in welchen keine einzige karminrote Sinterbildung bekannt ist.

Ausser den roten Tropfsteinen zeigt noch die engere territoriale Verteilung der inhomogen gefärbten Tropfsteine ähnliche auffällige Unregelmässigkeiten. In der Baradla, aber auch in der Béke-Höhle sind uns solche kürzere Abschnitte bekannt, wo 80–90% aller Stalaktiten der inhomogenen Gruppe angehören, während in anderen Strecken dieser Prozentsatz bis zu 5–10% herabsinkt.

Die Klärung dieses interessanten Phänomens suchend haben wir die Karte dieser Höhlenteile mit der zugehörigen Oberflächenkarte verglichen und festgestellt, dass den auffälligen Farbengruppierungen gleichen Charakters an der Oberfläche stets morphologische Formenelemente gleichen Charakters entsprochen haben. Die Tropfsteinfarbentypen der Höhle stehen also in einem gesetzmässigen genetischen Zusammenhang mit den Landschaftszonen der Oberfläche.

Unsere weiteren Detailuntersuchungen, welche wir auf Grund dieser Erkenntnis nun in völlig bewusster systematischer Weise durchgeführt haben, ermöglichten auch die sinngemässe Deutung dieses Zusammenhanges. Im nachfolgenden folgt die Darlegung der auf diesem Gebiet gewonnenen neuen Erkenntnisse.

Nähert sich ein Höhlentunnel einer oberflächlichen Dolinenbildung (unter ihre Mitte gelangt er aber nie!), so erhöht sich, in dem Masse der Annäherung der Prozent

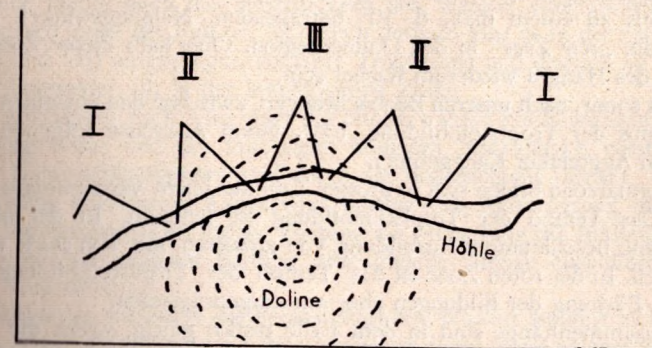


Abb. 1. Grundrisschema für den Zusammenhang zwischen den für die Tropfsteine charakteristischen Farbentypen der Höhle und den morphologischen Formentypen der Karstoberfläche. I. = Normalzone; II. = Inhomogene Zone; III. = Rote Zone.

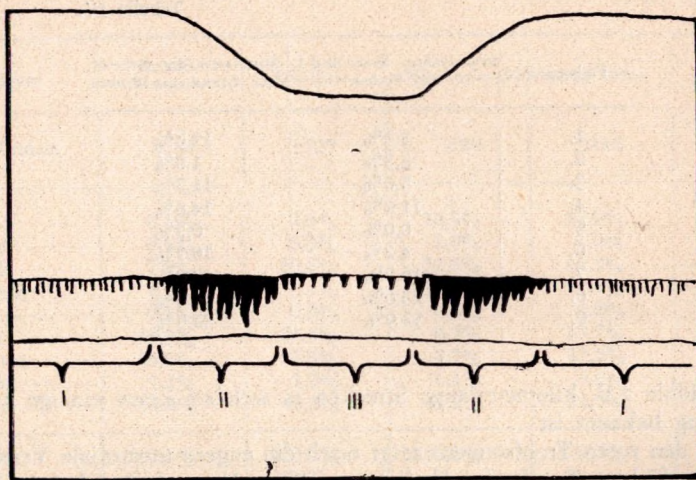


Abb. 2. Profilquerschnittschema für den Zusammenhang zwischen den für die Tropfsteine charakteristischen Farbzonen der Höhle und den morphologischen Formtypen der Karstoberfläche. I. = Normalzone; II. = Inhomogene Zone; III. = Rote Zone.

satz der inhomogenen Tropfsteine. Diese Steigerung hält aber nur so weit an, als der Neigungswinkel des sich über der Höhle hinziehenden Berghanges $8-10^\circ$ nicht übersteigt. In Höhlengängen, die sich unter steileren Dolinenhängen hinziehen, fällt dem Beobachter die Steigerung des Zahlenverhältnisses der braunen und roten Tropfsteine auf. Wenn man sich von der Doline entfernt, kann man die umgekehrte Aufeinanderfolge wahrnehmen. Schematisch kann diese Erscheinung folgenderweise dargestellt werden (Abb. 1. und Abb. 2.).

Auf Grund dieser Erscheinung ist eine unterschiedliche Benennung der einzelnen Zonentypen der Höhlen begründet. Wir unterscheiden nunmehr eine „Normalzone“ im Falle einer Höhlenstrecke die sich fast parallel mit der verkarsteten Oberfläche hinzieht. Die „inhomogene Zone“ erstreckt sich an den randlichen Teilen der Karstoberflächensenke bis zu einem max. $8-10^\circ$ betragenden Neigungswinkel. Schliesslich befindet sich die „rote Zone“ in der Dolinenregion. Oberhalb dieser Zone kann der Neigungsgrad des Hanges wiederum flacher sein.

Es besteht somit, nach unseren Beobachtungen, zwischen den einzelnen Zonen und dem Farbentypus der Tropfsteinbildung, bzw. ihrem Ausmasse folgende eindeutige Korrelation (im Aggteleker Karstgebiet).

In der Normalzone bilden sich in grosser Zahl nur leicht verunreinigte und kleine Tropfsteine. Das Tempo der Tropfsteinbildung ist langsam. In der inhomogenen Zone erfolgt eine beschleunigte Ausbildung von grösseren, mit Ton stark verunreinigten Tropfsteinen. In der roten Zone ist das Tempo der Tropfsteinbildung wiederum langsamer, die Färbung der Bildungen aber am ausgeprägtesten.

Obige Zusammenhänge sind in dem Falle restlos gültig, wenn die Oberfläche nicht durch Wald bedeckt ist und wo dementsprechend auch die das Karstgestein bedeckende Bodendecke fehlt oder eventuell nur dünn und lückenhaft ist. Die Anwesenheit einer mächtigeren, humosen Bodenschicht und unter Gehölz entstandenen Pflanzen-

decke ändert die geschilderten Zonenverhältnisse stark und zwar in folgender Hinsicht:

1. In der Normalzone nimmt das Tempo der Tropfsteinausbildung zu, die Zahl der farbigen Tropfsteine ist noch gering.

2. In der inhomogenen Zone nimmt das Tempo der Tropfsteinausbildung ab, tonige Verunreinigungen treten zurück.

3. In der roten Zone steigert sich das Tempo der Tropfsteinausbildung, aber auch die Färbung wird ausgeprägter.

Zur Deutung der obengeschilderten beobachteten Gesetzmässigkeiten muss man die Eigenartigkeit des Gesteinsgefüges der Karst-Dolinen eingehender betrachten. Es ist allgemein bekannt, dass die unter der Doline befindliche Gesteinsregion, vom Rande der Doline gegen das Zentrum zu betrachtet, eine zunehmende strukturelle, sekundäre Zerstörung durch Verkarstung durchgemacht hat. Die Schwächung der Standfestigkeit der Kalksteinschichten, das trichterförmige Einsinken der Oberfläche, ist eben eine Folge der Gesteinsauflösung entlang der starken Zerklüftung. Das Gestein hat an diesen Stellen ein geräumiges und zahlreiches Kluftnetz, durch welches das Niederschlagswasser unbehindert und ohne bedeutsamere Verzögerung in die Tiefe absickern kann. Wenn man das in Betracht nimmt, wird die in der inhomogenen Zone in gesteigertem Tempo erfolgende Tropfsteinbildung begrifflich, und auch verständlich, dass die hier versickernden Wässer meistens unfiltriert sind und von Fall zu Fall aus den oberflächlichen Bodenschichten Trübe (Fremdstoffe, Verunreinigungen) in verschiedener Menge und Qualität einschwemmen.

Noch viel auffälliger ist aber der Umstand, dass in der roten Zone das Tempo der Tropfsteinbildung im Vergleich mit der inhomogenen Zone nur mässig ist. Aus unserer Kenntnis der Entwicklungsverhältnisse des Gesteinsgefüges der Dolinen sollte doch eigentlich folgen, dass eben hier das stärkste Wassersickern und was damit gleichbedeutend ist: die schnellste Tropfsteinbildung stattfinden müsste.

Dass dies in Wirklichkeit doch nicht der Fall ist, kann wahrscheinlich nur dadurch erklärt werden, dass die seitlich eingeschwemmten, am Dolinengrund angesammelten tonigen Sedimente das Versickern des Wassers behindern, ja sogar die Klüfte mit Ton verstopfen. Das trotzdem durchtretende Wasser befördert, eben weil es stark filtriert ist, nur wenig festen Schutt in die Höhle und führt verhältnismässig aus der Terra rossa mehr chemisch gelöste Verbindungen in die Höhle hinein. Die Geschlossenheit der Dolinengründe macht auch das Herabsickern des Wassers ausgeglichener, als es in der inhomogenen Zone der Fall ist. Sicherlich deshalb gibt es in der roten Zone viel homogenere und viel ausgeprägter gefärbte Tropfsteine und deshalb ist auch ihr Bildungstempo langsamer, als in der inhomogenen Zone.

Dieser Auffassung nach wird auch die obenerwähnte erscheinungsmodifizierende Rolle der Vegetation und der mächtigen humosen Bodendecke verständlich. Das absickernde Niederschlagswasser wird durch die Bodenschicht filtriert, wodurch zugleich auch seine kalklösende Aggressivität, infolge CO_2 -Anreicherung stark gesteigert wird. In der Normalzone führt dieser Vorgang zur Steigerung des Bildungstempos der Tropfsteine und ihrer reineren Bildung (die gleiche Menge einsickernden Wassers bildet mehr Tropfsteine).

Die kalklösende Aktivität des herabsickernden Wassers steigert sich auch in der inhomogenen Zone, jedoch wird die Wasserführung dieser Zone wegen der Bedeckung der Oberfläche und der oberflächlichen Verschliessung (Verschlammung) des erweiterten wasserleitenden Kluftsystems wesentlich vermindert. Vergeblich nimmt die tropf-

steinbildende Kraft des Wassers zu, das in viel geringerer Menge einsickernde Wasser baut dennoch die Stalaktiten langsamer auf; zur selben Zeit befördert auch das verminderte, ausgeglichene und besser filtrierte Sickerwasser weniger tonige Verunreinigungen.

Die Wassermengedifferenz, welche jetzt in die inhomogene Zone nicht einsickern kann, fliesst an der Oberfläche in den Dolinengrund herab, wo sie durch den durch die Wurzeln der Pflanzen stark durchdrungenen und damit durchlässiger gewordenen Boden langsam in die rote Zone der Höhle gelangt. Deshalb verläuft sich die Tropfsteinbildung der roten Zone in Anwesenheit eines Waldes und deshalb nimmt gleichzeitig auch die Menge der verunreinigenden Stoffe (Fremdstoffe) in dieser Zone zu.

Unsere in Zusammenhang mit den Farbenveränderungen der Tropfsteine durchgeführten Untersuchungen haben schliesslich die Erkennung eines weiteren interessanten Zusammenhanges ermöglicht. Wenn wir nämlich von den Zonen unabhängig den Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der verschiedenen grossen Stalaktiten und den verschiedenen Farbgruppen, d.h. den Zusammenhang zwischen Grösse und Farbe, untersuchen, so erkennen wir gleichfalls neue, allgemeine Beziehungen. Im folgenden Graphikon wird die Statistik der 14 335 Tropfsteine aus den Baradla- und Béke-Höhlen dargestellt, welche in dieser Hinsicht untersucht wurden. (Die Ziffern neben den einzelnen, mit verschiedenen Linien abgebildeten Kurven stellen die Indices der Farbgruppen dar.) (Abb. 3.)

Die Auswertung des Graphikons ergibt folgende Feststellungen:

A) Die farblosen, durchsichtigen Tropfsteine gehören fast ausnahmslos zur Gruppe der sogenannten „Zwimtropfsteine“ mit dem Durchmesser eines Wassertropfens. Die Ursache dieses Phänomens liegt sicherlich nicht darin, dass diese, aus reinem Kalzit bestehende Abart der Tropfsteine einer weiteren Dickenzunahme unfähig wäre, oder dass diese Bildungen eventuell nur in den jüngsten Zeiten zustande gekommen wären. Die Ursache liegt vielmehr darin, dass im Laufe der weiteren Dickenzunahme die Durchsichtigkeit dieser Bildungen verschwindet, teils wegen der erhöhten Refraktion der wachsenden Kristallflächen, teils aber deshalb, weil während des Alterns des Tropfsteines die wasserleitende Felsenkluft immer breiter wird und damit auch die Möglichkeit der Einschwemmung von Verunreinigungen erhöht wird.

B) Die aus reinem Kalzit aufgebauten, in ihrem Jugendstadium durchsichtigen Tropfsteine gehen im Laufe ihres Anwachsens, wegen der winzigen Lufteinschlüsse in den milchweissen Typus über. In dieser Farbgruppe kommen aber nur selten Individuen mit einem Durchmesser von mehr als 20–23 mm vor. Offensichtlich liegt die Ursache dieses Phänomens auch darin, dass das wasserführende Kluftsystem sich inzwischen ausdehnte und sein Filtriervermögen verlor. Dass hier tatsächlich dieser Vorgang eine Rolle spielen dürfte, wird auch dadurch bewiesen, dass die zur gelben und orangengelben Farbgruppe gehörenden Tropfsteine überwiegend in der Zone der 20–30 mm Durchmesser auftreten.

C) Die rosafarbenen Tropfsteine gehören überwiegend der Zone der Durchmesser von 25–30 mm an. Die Ursache davon kennen wir noch nicht, es ist aber durchaus möglich, dass es hier wegen der geringen Zahl der untersuchten Proben (insgesamt nur 43) um einen Mangel an genügenden Beobachtungen handelt.

D) Die braunen, rotbraunen und inhomogenen Tropfsteine zeichnen sich durch keinen charakteristischen Durchmesser aus. Sie kommen von der Grösse von 5–10 mm angefangen bis zu den allerdicksten Stalaktiten in allen Grössen vor und man kann

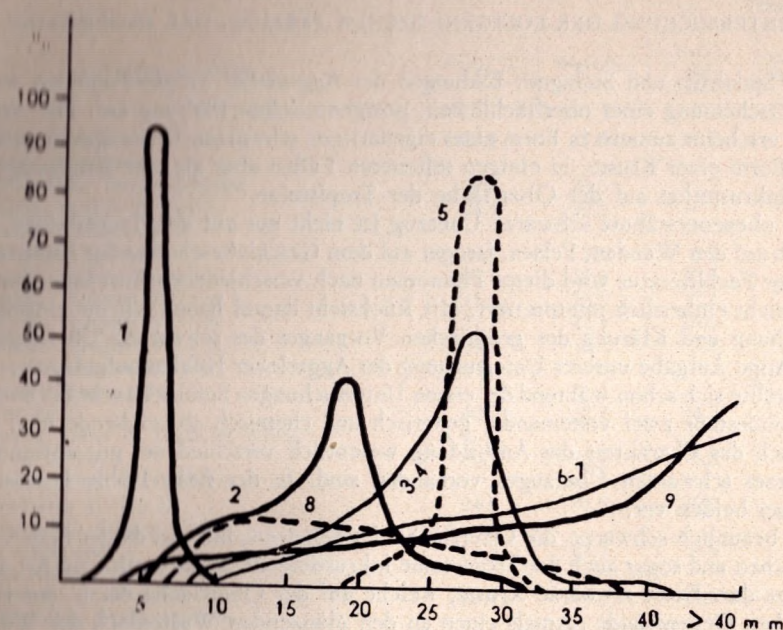


Abb. 3. Häufigkeits-Komplexdiagramm für den Zusammenhang der verschiedenen syngenetischen Farben der Stalaktite und ihres Durchmessers. 1 = farblos, durchsichtig, glasartig; 2 = milchweiss; 3 = cremegelb; 4 = orangengelb; 5 = rosafarbig; 6 = hellbraun; 7 = rötlichbraun; 8 = karminrot; 9 = inhomogene Farbe (Wechsel verschiedenfarbiger Ringe).

allgemein nur so viel feststellen, dass ihre Häufigkeit direkt proportional zu der Grösse des Durchmessers steigt.

E) Unter den Stalaktitbildungen mit einem Durchmesser von mehr als 35 mm weisen die Tropfsteine der Farbgruppen 6., 7. und 9. eine 90% übertreffende Häufigkeit auf. Diese Erscheinung hat wahrscheinlich auch schon kristallstrukturelle Ursachen. Die sekundäre Umkristallisierung der inhomogenen, wenig verunreinigten Tropfsteine kann nämlich zur Folge haben, dass die homogenen Tropfsteine von grösserem Gewicht leichter abreißen. Bei den inhomogenen und stärker verunreinigten, gefärbten Tropfsteinen dagegen ist die Ausbildung von Spaltungsrisen und von das Abreißen erleichternden Absonderungsebenen in den Kristallflächen sehr behindert, was für die längere Lebensdauer und das intensivere Anwachsen der Stalaktiten eine ausschlaggebende Rolle spielen mag. Andererseits kann man auch nachweisen, dass der Wachstumsprozess der stark verunreinigten, viel tonige Komponenten enthaltenden Stalaktiten immer wesentlich schneller vor sich geht, als jener von solchen Tropfsteinen, die der theoretischen Zusammensetzung des Kalzits näherstehen. Bei der Interpretierung des Zusammenhanges zwischen dem Durchmesser und dem Farbentypus muss man somit auch diesen Umstand in Betracht ziehen.

II. UNTERSUCHUNG DER POSTGENETISCHEN FÄRBUNG DER TROPFSTEINE

Die Stalaktit- und Stalagmit-Bildungen der Aggteleker Tropfsteinhöhlen weisen oft die Erscheinung einer oberflächlichen, postgenetischen Färbung auf. Die Art der Färbung erscheint zumeist in Form eines eigenartigen schwarzen Überzuges, manchmal auch in Form einer Kruste, in einigen selteneren Fällen aber als eine ausgeprägt rotfarbige Inkrustation auf der Oberfläche der Tropfsteine.

Der oben erwähnte schwarze Überzug ist nicht nur auf den Tropfsteinen, sondern auch auf den Wänden, Felsen, ja sogar auf dem Geschiebeschotter der Höhle sichtbar; in der Fachliteratur wird dieses Phänomen nach verschiedenen Anschauungen und weitaus nicht einheitlich interpretiert. Mit Rücksicht darauf haben wir die eingehende Untersuchung und Klärung des genetischen Vorganges des schwarzen Überzuges als eine wichtige Aufgabe unserer Untersuchung der Aggteleker Höhlen aufgefasst.

Es stellte sich schon während der ersten Untersuchungen heraus, dass in der Baradla-Höhle mindestens zwei voneinander genetisch und chemisch abweichende und auch hinsichtlich des Charakters der Ausbildung wesentlich verschiedene, gut abtrennbare Arten dieses schwarzen Überzuges vorhanden sind. In der Béke-Höhle kommt nur einer dieser beiden vor.

Die bräunlich-schwarze, die Oberfläche des Schotters, hie und da des Bodens, der Wandflächen und sogar auch der Tropfsteine inkrustierende Masse stellt eine Art dieses Überzuges dar. Diese schwarze Kruste, welche auf der Oberfläche der in der Höhle befindlichen Gegenstände oftmals einen an den glänzenden Wüstenlack des Wüstenschotters erinnernden glänzenden, glatten Überzug, zuweilen aber eine ausgesprochen oberflächliche, harte und abtrennbare, manchmal mikrokristallinische Schicht bildet, kann in warmer Salpetersäure fast rückstandslos gelöst werden.

Demgegenüber steht die andere, in der Aggteleker Strecke der Baradla-Höhle überwiegend vorkommende Art des schwarzen Überzuges, welche in Salpetersäure praktisch unlösbar ist.

Die in Salpetersäure lösbare Art des schwarzen Überzuges kommt in der Baradla wie auch in der Béke-Höhle, ja man kann sagen in allen von uns untersuchten Höhlen des Aggteleker Karstgebietes \pm häufig vor. Das Vorkommen der unlösbaren Art ist dagegen eine ausschliessliche Eigentümlichkeit der Baradla-Höhle.

Auf Grund dieser Erkenntnisse haben wir die Untersuchung der stofflichen Unterschiede, der Verbreitungseigenart und der Häufigkeit der zwei verschiedenen schwarzen Überzüge in Angriff genommen.

Die sorgfältige chemische Analyse der in Salpetersäure lösbaren Kruste bestätigte vollkommen die früheren Feststellungen von FÖLDVÁRI und DUDICH. Diese Krusten erwiesen sich, in allen Fällen, auch in unseren Analysen als aus Eisen- und Manganoxyd bestehend. Die Ergebnisse der chemischen Analysen werden in der Tabelle V. angeführt.

Die gewonnenen Analysenwerte zeigen, dass die schwarze, eisen- und manganhaltige Kruste weder innerhalb ein und derselben Höhle, noch in ein und derselben Höhlenstrecke durch die Verschiedenheit der Mengen der chemischen Komponenten charakterisiert wird. Das stark veränderliche Verhältnis zwischen dem Eisen- und Manganoxyd zeigt keinen gesetzlichen Zusammenhang mit der Quantität des silikatischen Löserückstandes (vor allem Quarz!) der Kruste; ebenfalls ganz zufällig ist der Gehalt an Karbonatsalzen in der Kruste. Es scheint jedoch nicht ausgeschlossen, dass bei Durchführung einer wesentlich grösseren Anzahl von Untersuchungen und durch

Tabelle V.

| Fundort der Probe | Fe ₂ O ₃ % | MnO ₂ % | CaCO ₃ und MgCO ₃ | Unlöslicher Rückstand |
|---|----------------------------------|--------------------|---|-----------------------|
| 1. Baradla, Rettichast | 29,9 | 17,6 | 11,2 | 41,3 |
| 2. Baradla, Goldstrasse, Altholozäner Terrasenschotter | 16,2 | 28,3 | 21,7 | 33,8 |
| 3. Baradla, Budaer Tunnel I | 44,4 | 29,6 | — | 26,0 |
| 4. Baradla, Goldstrasse, Holozänes Bachbett | 38,2 | 7,9 | 8,5 | 45,4 |
| 5. Baradla, Budaer Tunnel II | 15,5 | 24,8 | 30,5 | 29,2 |
| 6. Baradla, Hauptast 2800 m | 21,0 | 15,3 | 2,1 | 61,6 |
| 7. Baradla, Hauptast 3400 m | 37,7 | 42,4 | 16,2 | 3,7 |
| 8. Baradla, Hauptast 4700 m | 54,7 | 36,8 | 7,1 | 2,4 |
| 9. Baradla, Saal der Riesen, Wasserschlinger unter dem Saal | 40,9 | 22,2 | 34,7 | 2,2 |
| 10. Domica, Unter d. Teich für Kahnfahren II. No I. | 60,5 | 33,7 | 5,6 | 0,2 |
| 11. Domica, Unter d. Teich für Kahnfahren II. No II. | 24,8 | 21,3 | 36,0 | 17,9 |
| 12. Béke-Höhle, Oberes Ende des Hauptastes | 19,3 | 21,7 | 4,8 | 54,2 |
| 13. Béke-Höhle, Probe I. beim Tropfstein „Lektorok“ | 39,7 | 11,2 | 40,8 | 8,3 |
| 14. Béke-Höhle, Probe II. beim Tropfstein „Lektorok“ | 31,6 | 38,4 | 12,6 | 17,4 |

die statistische Auswertung der erhaltenen Daten auch auf diesem Gebiet sich eine Gesetzmässigkeit erkennen liesse, welche das Mischverhältnis der einzelnen Komponenten angibt. Zu solchen Schlussfolgerungen geben aber unsere bisherigen Untersuchungen noch keine Anhaltspunkte.

Bezüglich des Bildungsstandortes des aus Eisen- und Manganoxiden bestehenden schwarzen Überzuges konnten wir eindeutig lediglich soviel feststellen, dass der Vorgang, welcher diese Kruste zuwege bringt, sich jeweils auf den sich mit der Luft in freier Berührung stehenden Gesteinsflächen und während einer sehr langen Zeitspanne abspielt. Die Kruste haben wir meistens auf dem aus Schotter und Sand bestehenden Geschiebematerial bzw. auf dem zusammenzementierten Konglomerat der Terrassen, wie auch auf der Oberfläche des Tones ausgebildet getroffen und nur in seltenen Fällen kam sie auf kalkigem Untergrund vor. Wo sie aber doch auch an der Oberfläche des Kalksteines oder Tropfsteines anzutreffen war, konnte man in allen Fällen eine starke tonige Verunreinigung des Muttergesteines nachweisen. Man kann daraus jedenfalls die Schlussfolgerung ziehen, dass die Organismen, Bakterien (nach DUDICH *Leptothrix ochracea* KÖTZ. und *Leptothrix crassa* CHOL.), welche die Substanz der Kruste ausscheiden, die dazu nötigen Eisen und Manganverbindungen nicht den Höhlengewässern, sondern dem Bodensubstrat selbst entziehen und an die Oberfläche konzentrieren. Der ausgeprägteste und mächtigste Überzug ist immer dort zu finden, wo auch der unter dem Überzug befindliche Sand- oder Lehm am röttesten war, d.h. den grössten Eisen- gehalt aufwies.

Nach unseren Beobachtungen spielt die eventuelle eisen- oder manganoxydhaltige Verunreinigung der in die Höhle einsickernden und einflussenden Wasser vom Standpunkte der Krustenbildung aus keine Rolle. Das bestätigen auch jene

unsere Beobachtungen, wonach Wasserversickerungen mit verhältnismässig hohem Eisen- und Mangangehalt nur die syngenetische Färbung der sich zufällig bildenden Tropfsteine beeinflussen, jedoch in keiner kausal vermuteten Verbindung mit den Orten der Krustenvorkommen stehen.

Wir haben ebenfalls eindeutig feststellen können, dass unter den Wasserniveaus nirgends Krustenbildung stattfindet oder stattgefunden hat. Die besprochenen Krusten kommen jeweils an den oberflächlichen Teilen von Ablagerungen mit hohem Eisen- und Mangangehalt vor. Diese Flächen stellen seit langer Zeit (vermutlich seit mehreren Jahrtausenden) eher eine *wasserverdampfende*, als eine wasseraufnehmende Fläche dar. Diese Feststellung wird übrigens auch durch unsere Beobachtung unterstützt, dass auf den sonst breit ausgedehnten, zusammenhängenden, inkrustierten Ablagerungsflächen, auf den Stellen wo vom Höhlendach von Zeit zu Zeit Wasser abtropft, der Zusammenhang (die Ununterbrochenheit) der Kruste fehlt.

Auf Grund aller dieser Beobachtungen könnte man auf den Gedanken kommen, dass die charakteristische schwarze Mangankruste der Ablagerungsflächen in den Höhlen genetisch in vielen Fällen dem Vorgang der Natronbildung oder der glänzenden Lackbildung (Wüstenlack) näher steht, als den biogenetisch gebildeten Ablagerungen. Wir können zur Zeit zu dieser Frage noch keine kategorische Stellung nehmen. Man kann aber als fast ganz bestimmt annehmen, dass auf den wasserverdampfenden Höhlenbodenflächen wegen des durch die Kapillaren emporsteigenden und dort verdampfenden Wassers, die Lösungskonzentration stark zunimmt und dass diese Konzentrationszunahme *sehr vorteilhaft* den Effekt der Sekretionstätigkeit der Eisenbakterien *beeinflusst*.

Die andere, säureunlösliche Abart des schwarzen Überzuges kommt nur in der Baradla-Höhle vor, dort aber in so grosser Menge, dass sie praktisch die dominierende und kennzeichnende Farbentönung einiger ganzer Strecken der Baradla-Höhle in entscheidender Weise bestimmt. Wir haben nachgewiesen, dass im sogenannten Schwarzen Saal der Aggteleker Höhlenstrecke, wo diese schwarze Schicht 97 % der gesamten Bodenfläche und 94% der ganzen Tropfstein- und Felsenoberfläche bedeckt, lediglich 0,2% des schwarzen Überzuges aus einer eisen- und manganhaltigen Kruste besteht. Die übrigen 99,8% rühren von einem in allen Säuren unlöslichen schwarzen Farbstoff her.

Wird das Material dieser schwarzen Hülle von den Tropfsteinen oder von den Kalksteinfelsen vorsichtig abgeschabt und aus dem gewonnenen Pulver das karbonatische Material mit Hilfe verdünnter Salzsäure ausgelöst, so entsteht eine äusserst fein verteilte, fast kolloidale, schmierbare schwarze Masse bzw. ein Pulver von fettigem Griff. In Gewichtsprozenten können (in trockenem Zustand) 15 bis 99% dieser Masse als Kohle, oder als organische Verbindung mit sehr hohem Kohleninhalt bestimmt werden. Wird nun dieses Material in einem Glasrohr, unter Durchführung eines schwachen Sauerstoffstromes, auf mehrere Hundert °C erhitzt, so verliert es seine schwarze Farbe und nimmt, unter wesentlicher Zusammenschrumpfung in der ganzen Masse, eine graue oder rote Farbe an. Das nach der vollkommenen Verbrennung des Kohlengehaltes im Glasrohr zurückgebliebene geringe Material besteht überwiegend aus Quarz (manchmal in mikroskopisch gut erkennbaren feinen Kriställchen) und untergeordnet aus anderen silikatischen Stoffen. Eisenoxyd und Aluminiumoxyd.

Bezüglich der Erklärung dieses organischen Überzuges, welcher zum grössten Teile als Kohle aufgefasst werden kann, existierten am Anfange unserer Untersuchungen (Anfang 1954) zwei entgegengesetzte Auffassungen. Die früheren Erforscher der

Höhle (I. VAB, K. SIEGMETH, J. NYÁRY und andere) vertraten die Meinung, dass die schwarze Kruste einfach als Russablagerung der Feuerherde und Fackeln der einstigen Höhlenbewohner aufzufassen ist. Dieser Meinung gegenüber steht die Meinung von DANCZA, wonach gewisse, spezielle „kugelförmige Bakterien“, die sich in enormen Mengen vermehren, auf einigen Oberflächenteilen der Tropfsteine, der Felsen und des Bodens leben. Nach DANCZA's Auffassung stellt der schwarze Überzug eine Anhäufung ihrer verkohlten Körperreste dar, welcher mit der Zeit gut sichtbar wird. Nach DANCZA haben sich diese Bakterien erstmalig beim Aggteleker Eingang der Baradla-Höhle angesiedelt und von hier aus haben sie ihren Lebensraum, stufenweise immer mehr gegen die tieferen Teile der Höhle zu ausgedehnt. Je auffallender die sekundäre schwarze Färbung einer Höhlenstrecke ist, desto früher haben die Bakterien die betroffene Strecke in Besitz genommen und desto mächtiger (dicker) ist auch die schwarze Schicht, welche sich aus den Kadavern der untergegangenen Bakterengenerationen ansammelte.

Beide Theorien, die alte Russtheorie, wie auch die Kadaver-Theorie von DANCZA, hatten einige schwache Punkte, für welche keine Erklärung zu finden war. Für die Russtheorie sprach vor allem der Umstand, dass an den meisten Stellen sich der schwarze Überzug fast nur auf die schiefen oder horizontalen, emporgerichteten Flächen der Sinter, Tropfsteine und Felsen abgesetzt hat und zugleich an den bodenwärts gerichteten, überhängend geneigten Wänden, Tropfsteinflächen oder den vom Dach herabhängenden Felsten gefehlt hat. Dieser Umstand, der das langsame, aus der Luft erfolgte *Absetzen* der feinen Körnchen des schwarzen Farbstoffes zu beweisen schien, stellte das Hauptargument der Russtheorie dar. Die Russkörnchen können sich nämlich in dieser Weise nur auf die aufragenden Seiten oder Oberflächen der Gegenstände aus der Luft absetzen, wie sich auch der Staub nur auf den oberen Flächen, bzw. den \pm aufwärts gerichteten Seitenflächen der Möbel absetzt. In der Baradla-Höhle kann man überall, wo dieser schwarze Überzug vorkommt, ausgezeichnet feststellen, dass sich die Dicke des Überzuges auch an einunddemselben Tropfstein proportional mit dem Neigungswinkel (zur Horizontale) seines Oberflächenteiles ändert. Das Prinzip dieser Erscheinung wird an Hand einer massstäblich stark übertriebenen Zeichnung, in Abbildung 4 veranschaulicht.

Übrigens tritt diese Erscheinung so auffallend und ausgeprägt zum Vorschein, dass die mehrstufig aufgebauten, horizontal gegliederten Tropfsteine infolgedessen streifig-schwarz gesprenkelt erscheinen. (Siehe die beigelegte Aufnahme aus der Aggteleker Strecke der Baradla-Höhle.) (Abb. 5.)

Das in diesem Sinne genommene lokale Auftreten des schwarzen Überzuges kann man selbstverständlich nicht, oder nur sehr gezwungen mit der Theorie der „Bakterienkadaver“ erklären. Es ist ja doch schwer begründbar weshalb die Bakterien nur auf den aufwärts gerichteten Teilen der in der Höhle befindlichen Gegenstände und Bildungen gelebt hätten und zugrunde gegangen wären und warum sie sich fast niemals und nirgends auch auf den konkaven, abwärts geneigten Teilen oder unter giebelartigen Vorsprüngen angesiedelt haben sollten? DANCZA erklärte dieses Problem dadurch, dass das abtropfende Wasser nur auf die aufwärts gerichteten Teile der Tropfsteine auffällt und bekanntlich das Wasser das Lebenselement der Bakterien ist. Natürlich ist aber diese Deutung unzulänglich, denn das Wasser, welches auf die Oberfläche des Stalagmitis fällt, fliesst doch unvermeidlich auch auf den Seiten des Tropfsteines herunter und feuchtet die sich herabneigenden und die sich aufwärts richtenden Flächen in gleicher Weise an.

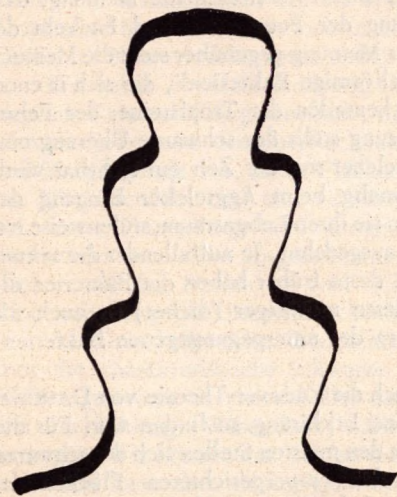


Abb. 4. Querschnitt eines Stalagmits mit Angabe der unterschiedlichen Ablagerungsdicke des postgenetischen schwarzen Überzuges. (Erklärende Skizze mit verzerrem Massstab.)

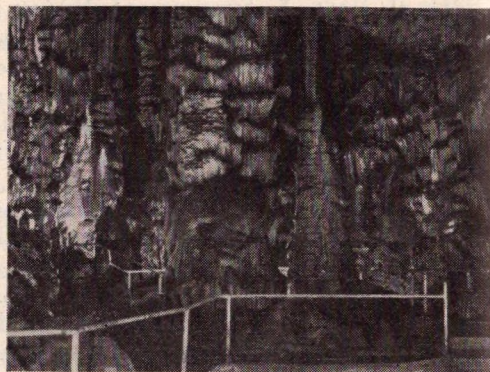


Abb. 5. Detail aus dem „Säulenhalle“ genannten Raum des Aggteleker Abschnittes der Baradla. Am Bild ist deutlich sichtbar, dass der postgenetische schwarze Oberflächenüberzug sich nur auf den nach oben gekehrten Flächen der Sinterbildungen abgelagert hat und ebendort auf den nach abwärts gekehrten Flächen fehlt.

Am schwärzesten sind die Bildungen in den, dem Aggteleker Eingang naheliegenden ersten Räumen (Infektionsherde – nach DANCZA), am wenigsten schwarz sind sie in den abgelegenen, von den Menschen erst in späteren Zeiten aufgesuchten und wenig begangenen (also kaum infizierten) Höhlenstrecken. Diese Verbreitungsart des schwarzen Überzuges kann ebenso sehr als Beweis für den Russursprung, als auch für den Kadaver-Ursprung angesehen werden. Es scheint wohl gewissermassen natürlicher, dass der die Höhlen aufsuchende Mensch mit seiner Fackel die Gegenstände mit Russ beschmutzt, als dass er kugelförmige Bakterien dorthin verschleppt, wo er hinkommt.

Dagegen ist es jedoch fraglos ein sehr zum Nachdenken bestimmender Umstand, der unbedingt für die Kadavertheorie spricht, dass in der Domica-Höhle der schwarze organische Überzug vom Aggteleker Typus auf den Tropfsteinen tatsächlich viel seltener vorkommt. Nach archäologischen Untersuchungen haben Urmenschen die Domica-Höhle zur selben Zeit wie auch die Baradla-Höhle bewohnt, demzufolge konnten sie die Domica-Höhle ebenfalls durch ihre Feuerherde und Fackel mit beschmutzt haben. Die Theorie von DANCZA hat also diesen Widerspruch zwischen den beiden Höhlen sehr geistreich erklärt, was die Russtheorie nicht konnte.

Im Laufe der Untersuchung der syngenetischen Färbung der Tropfsteine mussten wir auch in der Baradla-Höhle die frischen Bruchflächen vieler Tropfsteine genauer betrachten. So sind wir darauf gekommen, dass es in der Baradla-Höhle nicht eine, sondern drei, auch zeitlich voneinander gut zu trennende Perioden der Bildung dieses schwarzen Überzuges gab. Unter der schwarzen Schicht organischen Ursprungs, welche die Tropfsteine der Aggteleker Höhlenstrecke schleierartig bedeckt, folgen in einer Tiefe von nicht mehr als 0,5–1,0 mm vollkommen weisse, gelbe bzw. andere syngenetisch gefärbte Tropfsteinschichten. In einzelnen Tropfsteinen aber, vor allem in solchen, welche sich in den letzten Jahrtausenden ununterbrochen entwickeln konnten

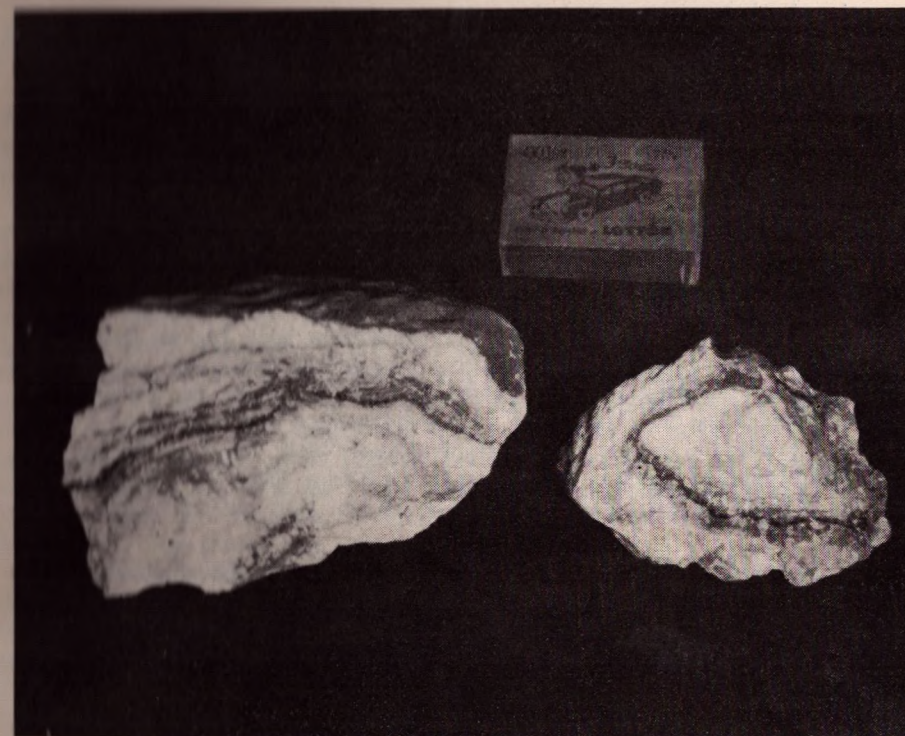


Abb. 6. An Stalagmiten der Baradla (Tigersaal, Säulenhalle, usw.) auftretende 3 charakteristische postgenetische schwarze Ringe. Die auf der Oberfläche des linken Stalagmitenstückes sichtbare äusserste Schicht entstand bereits in historischer Zeit; der am linken Bild im Inneren des Stückes sichtbare schwarze Stroifen lagerte sich zur Zeit der Hallstätter Kultur auf die damals bestandene Tropfsteinoberfläche ab, während auf dem rechtseitigen Bild der innere Russtring sichtbar ist, der sich zur Zeit des Bestandes der Bükker Kultur bildete. Die im Profil zwischen den Russtringen der Hallstätter und der heutigen Zeit wahrnehmbaren unbestimmteren, dünneren schwarzen Ringe stellen Anzeichen von Kulturperioden kürzerer Zeitdauer dar, deren Altersstellung noch fraglich ist.

und an Dicke zugenommen haben, folgt unter einer 1–1,5 cm starken reinen Tropfsteinschicht wiederum ein innerer, zweiter schwarzer Überzug, welcher in Form eines schwarzen Ringes erscheint. Dieser im Querschnitt ringartig erscheinende schwarze Überzug markiert eine ältere Tropfsteinoberfläche. Wenn wir nun unsere Untersuchungen am Querschnitt gegen das Innere zu fortführen, so gelangen wir nach 2–3 cm zu dem innersten, dritten schwarzen Überzug. Gegen das Zentrum des Querschnittes zu treffen wir sodann nunmehr die reinen syngenetischen Färbungen an. (Siehe beifolgende Aufnahme – Abb. 6.)

Die drei schwarzen Ringe der Stalagmiten der Baradla-Höhle können sinngemäss nur zwei Dinge bedeuten. Entweder geben sie an, dass die kugelförmigen Bakterien die Höhle in drei verschiedenen Perioden besiedelten und bei jeder Gelegenheit nach kurzer Frist eingegangen sind, oder, dass der schwarze Überzug dennoch als Russschleier,

entstanden durch Feuer und Fackeln, zu betrachten ist, somit, dass die schwarzen Ringe 3 verschiedene Wohnperioden des Menschen in der Baradla-Höhle bedeuten.

Es ist unbestreitbar, dass die Anwesenheit der schwarzen Ringe nur in sehr gezwungener Weise nach der Kadaver-Theorie zu erklären wäre. Man kann sich nämlich kaum vorstellen, dass irgendwelche Bakterien in der Baradla-Höhle dreimal ihre Lebensbedingungen vorgefunden und sie wiederum dreimal verloren hätten. Demgegenüber stehen die drei Russringe in unbestreitbarem Einklang mit den durch die archäologischen Grabungen bestätigten Wohnzeitaltern der Höhlen. Unsere Vorgesichtsforscher (TOMPA, KADIC, VERTES) haben festgestellt, dass die Baradla-Höhle (aber auch die Domica-Höhle) sicher nachweisbar erstmalig 7000 Jahre vor der Gegenwart von den Menschen der sogenannten „Bücker Kultur“ des Neolithikums einige Jahrtausende lang besiedelt worden war. Darauf folgte eine lange Periode ohne Siedler. Dann aber tritt erneut und reichlich in den vorgeschichtlichen Funden das Material der „Hallstätter“ Baradla-Kultur auf, welche ungefähr 3500 Jahre vor unseren Zeiten blühte. Die Menschen der „Hallstätter“ Kultur besiedelten aber nur für eine relativ kurze Zeit die Baradla- und die Domica-Höhle. Danach blieb das ganze Höhlensystem bis zu den historischen Zeiten unbewohnt, so dass die dritte Phase der Russbildung nur durch die Höhlenbesucher mit Pechfackeln der letzten Jahrhunderte erklärt werden kann.

Sonach wird die Herkunft der Russringe verständlich. Der erste, innerste Ring hat sich als Folge der Feuerherde des Bücker Menschen, der mittlere als Folge der Feuerherde und der Fackeln des Hallstätter Menschen ausgebildet, und schliesslich rührt der dritte, oberflächliche schwarze Schleier von den Fackeln jener Menschen her, die die Höhle schon in historischen Zeiten aufgesucht haben.

Da der Domicaer Abschnitt des Höhlensystems zur Zeit des Absetzens des dritten, äusseren Russschleiers, in der Epoche der Fackeln benützenden Touristenbesucher der letzten zwei Jahrhunderte verschlossen und unbekannt war, ist es verständlich, dass auf den allmählich und ununterbrochen anwachsenden Sinterbildungen der äusserste, schwarze Überzug, welcher auf den Oberflächen in der Baradla-Höhle so auffallend ist, fehlt. Theoretisch sollte nun daraus folgen, dass im Inneren der ununterbrochen gebildeten, also gegenwärtig an der Oberfläche eine syngenetische Farbe besitzenden Tropfsteine der Domica, nur die Russringe der Hallstätter und der Bücker Kultur aufzufinden seien.

Die theoretisch geforderten zwei inneren Russringe haben wir später, als glänzende Bestätigung der Richtigkeit unserer Schlussfolgerungen, tatsächlich in der Domica gefunden und zwar in einem oberflächlich vollkommen unbeschmutzten Stalagmit der Höhle. Damit haben wir den entscheidendsten Beweis für den Charakter des postgenetischen schwarzen Überzuges als Kulturzeugnis erworben.

Untersuchungen die in der Domica unternommen wurden haben nachgewiesen, dass auch dort, wenn auch in geringerer Anzahl, als in der Baradla-Höhle, Tropfsteine vorkommen, welche auf ihrer heutigen Oberfläche diesen organischen schwarzen Überzug besitzen. In erstem Augenblick schien dieses Phänomen im Widerspruch zu unseren Folgerungen zu sein, später ergab sich jedoch, dass es gerade einen weiteren Beweis für die Richtigkeit der Theorie darstellt. Die Sache steht nämlich so, dass im Inneren der oberflächlich mit schwarzem Schleier überzogenen Domicaer Tropfsteine die inneren Russringe ausnahmslos fehlen. In diesen Fällen ist der Zuwachs der Tropfsteine in der seit der „Hallstätter“ und „Bücker“ Epoche verflossenen, mehrere Jahr-

tausende dauernden Periode stillgestanden und wir sehen auch heute noch die uralten Farben an der Oberfläche.

Wir haben an 7 Stalagmiten der Säulenhalle und des Tigersaales der Baradla-Höhle versucht, das Bildungsalter der in ihrem Inneren feststellbaren Russringe zu berechnen und zwar mittels Bestimmung des gegenwärtigen Wachstumstempos der betreffenden Stalagmiten.

Für diese interessanten Untersuchungen wurden solche Stalagmiten ausgewählt, welche zwischen den inneren, schwarzen Russringen verhältnismässig mächtige, syngenetisch gefärbte Tropfsteinschichten eingelagert haben. Es wurden also solche Stalagmiten ausgewählt, bei denen der Zuwachs- und Verdickungsvorgang im Laufe der letzten Jahrtausende relativ einheitlich ununterbrochen und schnell verlaufen ist. Auf den Gipfel dieser Stalagmiten wurde eine glatte Glasplatte von 4 dm² Fläche horizontal unter den Tropfenfall gestellt. Während der sechs Monate langen Messperiode bildete sich auf den Flächen der Glasplatten eine Stalagmitinkrustation mit von Fall zu Fall verschiedener Mächtigkeit und Masse. Am Ende der sechsmonatigen Experimentperiode wurde das genaue Gewicht der inkrustierten Platten im Trockenzustand bestimmt; darauf, nachdem die Sinteranlage mit Salzsäure abgelöst wurde, auch das Trockengewicht der Glasplatte. Die Differenz der zwei Gewichtsmessungen ergab also den Mass der Stalagmitbildung auf ein halbes Jahr gerechnet.

Danach wurde ein 4 dm² grosser Teil der entstandenen Stalagmit sorgfältig abgemessen und, nur für diesen Teil, die Masse bzw. das Gewicht der einzelnen zwischen den Russringen befindlichen, syngenetisch gefärbten Tropfsteinschichten genau bestimmt. Die so gewonnenen Werte wurden mit den experimentell gemessenen Zahlenwerte des halbjährigen Stalagmit-Zuwachses geteilt. Auf diesem Wege haben wir das Bildungsalter der einzelnen Russringe, in Halbjahren ausgedrückt, berechnet.

Da diese Methode zwangsmässig das Prinzip des Aktualismus in Anspruch nimmt, kann sie selbstverständlich nicht zu exakten Werten führen, obwohl sie in allen Fällen bestimmte Jahreszahlen ergibt. Die 10 bis 15% betragende Unsicherheit in der Massenbestimmung der zwischen den einzelnen schwarzen Ringen eingeschlossenen, syngenetisch gefärbten Tropfsteinschichten ist eine weitere Fehlerquelle. Trotzdem müssen wir feststellen, und zwar eben auf Grund der so gewonnenen und mit den archäologischen Altersbestimmungen vergleichbaren, d.h. kontrollierbaren Zeitwerte, dass wir so in den Besitz einer Methode gelangt sind, die genügend präzise und viel zuverlässiger, als die bisher angewendeten Methoden das Alter bzw. die Bildungszeit der Tropfsteine angibt.

Die Untersuchungsdaten und die Zahlenwerte der sieben Stalagmiten aus der Säulenhalle und dem Tigersaal sind in der Tabelle VI. angegeben.

In der nachfolgenden (VII.) Tabelle werden die prozentuellen Abweichungen unserer auf experimentalem Wege gewonnenen und berechneten Bildungszeiten in Jahren den von den Vorgesichtsforschern gegebenen Werten (Hallstätter Kultur 3500, Bücker Kultur 7000 Jahre) gegenüber gestellt.

Für Schlussfolgerungen solcher Natur sind 7 Angaben natürlich unzureichend. Es ist jedoch – wenn man die Angaben der Tabelle V näher betrachtet – auffallend, dass die bezüglich des Alters des älteren, innersten Ringes berechneten Werte sowohl einzeln genommen, als auch im Durchschnitt, den Zeitangaben der jüngeren archäologischen Perioden näher stehen als der Hallstätter Zeit. Dagegen sollte eigentlich aus der Natur der Dinge folgen, dass eine grössere Annäherung zum Alter des jüngeren, mittleren Ringes bestehen sollte. Es ist nämlich nicht wahrscheinlich, dass bei der

Tabelle VI.

| Fundort der Tropfsteine | Gewicht der Sintermasse zwischen Ring I. (äusserer) und II. auf 4 dm ² | Idem zwischen Ring II. und III. auf 4 dm ² | Gewicht des auf der Versuchsglasplatte entstandenen Sinters auf 4 dm ² | Alter des II. Ringes | Alter des III. Ringes |
|-------------------------|---|---|---|----------------------|-----------------------|
| | | | | in Jahren | |
| Säulenhalle 1. | 1493 g | 3429 g | 0,282 g | 2650 | 6080 |
| Säulenhalle 2. | 2687 g | 7287 g | 0,635 g | 2116 | 5738 |
| Säulenhalle 3. | 1400 g | 2668 g | 0,188 g | 3725 | 7097 |
| Säulenhalle 4. | 1850 g | 3321 g | 0,219 g | 4223 | 7582 |
| Säulenhalle 5. | 3979 g | 9596 g | 1,112 g | 1789 | 4315 |
| Tigersaal 1. | 3226 g | 6901 g | 0,420 g | 3840 | 8216 |
| Tigersaal 2. | 300 g | 563 g | 0,038 g | 3958 | 7411 |

Tabelle VII.

| Bildungsort der Tropfsteine | Berechnetes Alter des II. Ringes | Differenz in % | Berechnetes Alter des III. Ringes in Jahren | Differenz in % |
|-----------------------------|----------------------------------|----------------|---|----------------|
| Säulenhalle 1. | 2650 Jahr | -24,3 | 6080 Jahr | -13,1 |
| Säulenhalle 2. | 2116 Jahr | -39,5 | 5738 Jahre | -18,0 |
| Säulenhalle 3. | 3725 Jahr | +6,4 | 7097 Jahr | +1,4 |
| Säulenhalle 4. | 4223 Jahr | +20,7 | 7582 Jahr | +8,3 |
| Säulenhalle 5. | 1789 Jahr | -48,9 | 4315 Jahr | -38,4 |
| Tigersaal 1. | 3840 Jahr | +9,5 | 8216 Jahr | +17,4 |
| Tigersaal 2. | 3958 Jahr | +13,0 | 7411 Jahr | +5,9 |
| Mittelwert | 3186 Jahr | -8,9 | 6634 Jahr | -5,2 |

Anwendung des Prinzips des Aktualismus innerhalb einer 7000 Jahren betragenden Periode sich in den Rechnungen kleinere Fehler ergäben als innerhalb einer kürzeren Periode von 3500 Jahren. Auf Grund dieses Widerspruches scheint es so, dass der Baradlaer Zeitraum der Hallstätter Kultur nicht um 3500, sondern nur um 3000–3200 Jahre von unseren Zeiten entfernt ist. (Hier müssen wir aber wiederholt betonen, dass bloss 7 Angaben für solche Schlussfolgerungen unzulänglich sind.)

Es wurde schon im vorstehenden erwähnt, dass wenn man aus der von der Oberfläche der Tropfsteine abgeschabten Russchicht den Kohlenstoffgehalt mit Salzsäure auslöst und den Kohlenstoffgehalt im Sauerstoffstrom verbrennt, oftmals ein unlösbarer, vorwiegend aus winzigen Quarzkörnchen bestehender Rückstand zurückbleibt, dessen Menge manchmal praktisch unbedeutend, manchmal aber auch ganz reichlich ist. Dieser Rückstand enthält des öfteren wechselnde Mengen von Eisen- und Aluminiumoxyd. Lange Zeit hindurch haben wir den grössten, ja sogar den einzigen Beweis für die Unrichtigkeit der Theorie, dass der schwarze Überzug eine Kulturschicht, d.h. eine Russablagerung sei, eben in diesem anorganischen Komponenten erblickt. Als wir aber später diesen schwarzen Überzug von immer mehr und mehr Orten untersuchten, wurde unsere Aufmerksamkeit bezüglich der prozentuellen Quantität des unlösbaren Rückstandes auf äusserst interessante Zusammenhänge gelenkt, deren weitere Prüfung die Lösung des Problems zeitigte.

An Hand von ungefähr 190 durchgeführten Untersuchungen wurde folgende Gesetzmässigkeit bezüglich des Zusammenhanges zwischen den einzelnen Fundorten und dem Prozentsatz des unlösbaren anorganischen Rückstandes entdeckt:

1. Im Fledermausast der Höhle weist die Russchicht auf der Oberfläche der Tropfsteine einen äusserst hohen (80–85%) Gehalt an unlösbarer anorganischer Verunreinigung auf. Zu gleicher Zeit fehlen im Fledermausast die inneren Russringe der Tropfsteine.

2. Im Schwarzen Saal und im Konzertsaal ist das Mass dieser Verunreinigung geringer (60–65%) und es gibt kaum Tropfsteine mit inneren Russringen.

3. In der Mündung des Fuchsstes und im Knochenhaus ist die Verunreinigung noch geringer (20– bis 40%) und man kann auch Tropfsteine mit inneren Russringen öfters finden.

4. In den inneren Abschnitten des Hauptastes (hinter dem Eisernen Tor) übertrifft die Quantität der schwarzen anorganischen Verunreinigung nur selten 10 Gewichtsprozent des schwarzen Schleiers.

5. In der Säulenhalle und im Tigersaal kann man diese anorganische Verunreinigung praktisch in keinem schwarzen Überzug von Tropfsteinoberflächen wahrnehmen. Dagegen kann man hier die schwarzen Russringe in fast allen Stalagmiten feststellen.

6. In der Domicahöhle kann man das unlösbare Material nur in der oberflächlichen Russchicht in einer Menge von 10–40 Gewichtsprozent nachweisen. Das Innere der Tropfsteine ist von schwarzen Ringen frei.

7. Sowohl in der Domicahöhle, wie auch in der Baradla-Höhle fehlt die anorganische Verunreinigung vollkommen im Material der im Inneren der Tropfsteine befindlichen Ringe.

Die in obigen 7 Punkten angeführten Zusammenhänge sind dermassen eindeutig und gesetzmässig, dass wir den Wirkungsfaktor, welcher den Verlauf und die Gestaltung des Phänomens regelt, unbedingt erforschen mussten. Wir haben ihn schliesslich in den eigenartigen Luftströmungsbedingungen der Baradla-Höhle gefunden.

Für das Begreifen der Zusammenhänge und für die Aufdeckung der Ursachen des Phänomens genügt es sich mit den Luftzugsbedingungen der Aggteleker Strecke der Baradla-Höhle zu befassen.

Wir wissen, dass die Aggteleker Strecke des Höhlensystems (den nur für kurze Zeit als offen zu betrachtenden Kleinbaradlaer Wasserschlinger nicht mitgerechnet) im wesentlichen nur über zwei natürliche Eingänge verfügt und auch im Laufe der letzten Jahrtausende verfügt hat. Es sind dies der Aggteleker Haupteingang und der Eingang des Fledermausastes, welche schon den Höhlenbewohnern der vorhistorischen Zeiten bekannt waren und von ihnen benützt wurden. Die zwei Eingänge der Höhle liegen nicht auf einem und demselben Niveau; die natürliche Öffnung des Fledermausastes liegt etwa 20 m höher als der Haupteingang. Dieser Niveau-Unterschied verursacht eine ständige und intensive Luftzirkulation zwischen den beiden Eingängen. Im Winter bewegt sich die Luft vom Haupteingang durch den Schwarzen Saal in Richtung zur Öffnung des Fledermausastes, im Sommer aber wenn die Temperatur der äusseren Luftmasse höher ist, als die 10 C^o betragende Temperatur der Höhle, vollzieht sich die Luftzirkulation von dem Eingang des Fledermausastes her durch den Schwarzen Saal in Richtung zum Haupteingang. In dieser Luftzirkulation zwischen den Eingängen (der „Aggteleker kleine Kreislauf“ des Luftzuges) beteiligt sich die Strecke Säulenhalle-Tigersaal nicht.

Den sogenannten „kleinen Kreislauf“ der Luftzirkulation geben wir für Sommer und Winter auf unterstehender Kartenskizze an. (Abb. 7.)

Nehmen wir nun den Umstand in Betracht, dass bei der Sommerluftzirkulation die einströmende, wärmere Aussenluft im Fledermausast sich auf die Temperatur

Tabelle VIII.

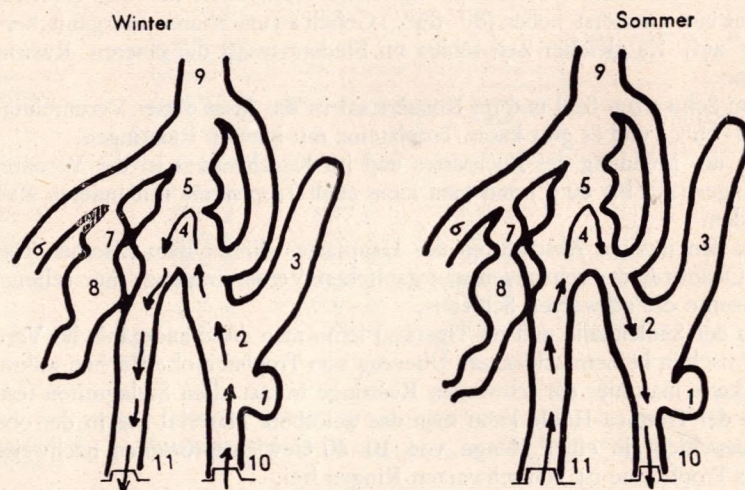


Abb. 7. Schema des sogenannten „kleinen Kreislaufes“ der Luftzirkulation in der Aggteleker Höhle Baradla im Winter und im Sommer.

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1. = Knochenhaus | 7. = Tigersaal |
| 2. = Mündung des Fuchsastes | 8. = Säulenhalle |
| 3. = Fuchsast | 9. = Hauptast in Richtung Jósvalf |
| 4. = Schwarzer Saal | 10. = Haupteingang |
| 5. = Konzertsaal | 11. = Eingang des Fledermausastes |
| 6. = Domicast | Ffeil = Richtung der Luftzirkulation |

des Gesteines abkühlt (cca. $+10^{\circ}\text{C}$), so wird auch die grosse Dampfkondensation, die in der Einströmungszone der Höhle in den meisten Fällen diesen Vorgang begleitet, begreiflich. In der sich abkühlenden Luft reichert sich der Feuchtigkeitsgehalt an und wenn er dann den Sättigungsgrad erreicht, tritt die Kondensation des Wassers auf den Oberflächen der Felsen und der Tropfsteine der Höhle ein. Die Quantität des in dem Fledermausast, und in geringerem Maasse in dem ganzen Aggteleker „kleinen Kreislauf“ auf diesem Wege kondensierten Wassers kann sehr wesentlich sein. Es zerstört durch sekundäre Lösungstätigkeit und Korrosion die Oberflächen der Tropfsteine.

Untenstehende Tabelle (nach TROMBE) gibt das Gewicht (in Gramm ausgedrückt) des in einem Kubikmeter anwesenden Wasserdampfes bei verschiedenen Lufttemperaturen und relativen Feuchtigkeitsgraden (in %) an (Tabelle VIII.).

Zieht man darüber hinaus noch in Betracht, dass durch den Eingang des Fledermausastes bei einer äusseren Sommertemperatur von $+25^{\circ}\text{C}$ im allgemeinen, $3,5\text{ m}^3$ Luft pro Sekunde einströmt und der relative Feuchtigkeitsgrad der einströmenden Luftmasse in der Regel 55–75% beträgt, so ist es leicht auszurechnen, dass bei 55% äusserer relativen Luftfeuchtigkeit sich pro Sekunde 9,6–11,2 g Wasser mit starker kalklösender Wirkung kondensieren muss. Bei 75% Feuchtigkeit der äusseren Luft beträgt die Quantität des sich pro Sekunde präzipitierenden Kondensationswassers 23,3–27,1 g. Das ist eine sehr grosse Quantität, denn es bedeutet für einen 10-stündigen

| Rel. Feuchtigkeitsgrad | Lufttemperatur in $^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | -5 | 0 | +5 | +10 | +15 | +20 | +25 | +30 |
| 100 % | 3,38 | 4,83 | 6,79 | 9,36 | 12,83 | 17,15 | 22,83 | 30,08 |
| 95 % | 3,21 | 4,59 | 6,45 | 8,89 | 12,19 | 16,29 | 21,69 | 28,58 |
| 90 % | 2,87 | 4,11 | 5,77 | 7,96 | 10,91 | 14,58 | 19,41 | 25,57 |
| 75 % | 2,54 | 3,62 | 5,09 | 7,02 | 9,62 | 12,86 | 17,12 | 22,5 |
| 65 % | 2,20 | 3,14 | 4,41 | 6,08 | 8,34 | 11,15 | 14,83 | 19,55 |
| 55 % | 1,86 | 2,66 | 3,73 | 5,15 | 7,06 | 9,43 | 12,56 | 16,54 |
| 45 % | 1,52 | 2,17 | 3,06 | 4,21 | 5,77 | 7,72 | 10,27 | 13,54 |
| 35 % | 1,18 | 1,69 | 2,38 | 3,28 | 4,49 | 6,00 | 7,99 | 10,53 |
| 25 % | 0,85 | 1,21 | 1,70 | 2,34 | 3,21 | 4,29 | 5,71 | 7,52 |
| 15 % | 0,51 | 0,72 | 1,02 | 1,40 | 1,92 | 2,57 | 3,42 | 4,51 |
| 5 % | 0,17 | 0,24 | 0,34 | 0,47 | 0,64 | 0,86 | 1,14 | 1,50 |

Zeitraum im ersten Fall einen Niederschlag von 345–403 l, im zweiten Fall von 839–976 l aktionsfähigen Wassers. In einigen heissen Sommertagen also, besonders wenn der Wert der äusseren Luftfeuchtigkeit ebenfalls hoch ist, gelangen in dem Aggteleker „kleinen Kreislauf“ viele m^3 Kondensationswasser. Diese Wassermenge schlägt sich auf die Oberfläche der Felsen, der Tropfsteine usw. nieder und löst ihr Kalkmaterial an den Flächen intensiv aus.

Im Winter ist die Art der Luftzirkulationsbedingungen natürlich umgekehrt. Der Feuchtigkeitsgrad der kalten, durch den Haupteingang einströmenden und sich in der Höhle erwärmenden Luft ist sehr gering, so dass sie eine wasserverdampfende Wirkung an der Flächenteilen der Höhle hervorruft. Zu solcher Zeit „trocknet“ die Höhle sozusagen aus. Die tropfsteinbauenden Tropfstellen werden seltener und besonders das Tempo der Stalagmitenbildung vermindert sich stark.

Als Folge dieser eigenartigen, für die Baradla kennzeichnenden Luftzirkulation ist in der Aggteleker Strecke des Höhlensystems der Zuwachs der Sinterbildungen an den meisten Stellen praktisch verlangsamt, oder gar zum Stillstand gekommen. Auf den Tropfsteinen, die der im Sommer einströmenden Luft in Wege stehen, vor allem im Fledermausast, aber auch im Schwarzen Saal, ja sogar in geringerem Masse auch im rückkehrenden Teil des Kreislaufes, ist eine sekundäre Auflösung, eine Korrosion der Tropfsteine eingetreten.

Am stärksten zerstört das Kondenswasser die Tropfsteine und Bildungen des Fledermausastes. Das Wasser kann aber nur den CaCO_3 -Gehalt der Tropfsteinoberflächen lösen, die syngenetischen mineralischen Farbstoffe und akzessorischen Verunreinigungen aber nicht. Infolgedessen reichern sich auf den durch das Kondenswasser sekundär korrodierten Tropfsteinoberflächen in zunehmender Weise die mineralischen Fremdstoffe, die winzigen Quarkörnchen, die Eisen- und Aluminiumoxyde usw. an, welche ursprünglich im Inneren der Tropfsteine fein verteilt vorhanden waren. Da die Dicke des Tropfsteines wegen der intensiven Lösungskorrosion durch Kondensation nicht zunimmt, sondern sich im Gegenteil immer mehr vermindert, kann das Material der verschiedenartigen Russablagerungen selbstverständlich auch keine abgesonderten, voneinander getrennten Ringe bzw. Überzüge zustande bringen. Der sich absetzende Russ vermischte sich mit dem auf den Sinter-Oberflächen angereicherten Lösungsrückstand und lässt die schon geschilderte, an unlöslichen anorganischen Rückstand reiche Varietät des schwarzen Überzuges entstehen.

Vollkommen anders gestaltet sich die Sache bei den Tropfsteinen derjenigen Höhlenräume, welche in den erwähnten kleinen Kreislauf der Luftzirkulation nicht eingeschaltet sind. Hier wird der gleichmässige Zuwachs der Bildungen durch die von der Präzipitation des sekundären Kondensationswassers verursachte Korrosion keineswegs gehindert, es reichern sich auf den Tropfsteinflächen keine karbonatfremde anorganische Fremdstoffe an und die Russringe bauen sich im Querschnitt der Tropfsteine genau an den Stellen ein, welche ihrer Entstehungsperiode entsprechen.

Deshalb findet man keine Quarzanreicherung im Material des zweiten und dritten Russringes und nicht einmal in den äussersten Ringen der Tropfsteine. Somit wird es auch verständlich, warum das Material des schwarzen Überzuges auf den Oberflächen der innere Russringe nicht enthaltenden, d.h. der sehr alten Tropfsteine bei erster Betrachtung von so unbegreifbar scheinender gemischter Zusammensetzung ist.

Nach dieser Auslegung erhalten nun die früher widerspruchsvollen Probleme eine klare Lösung. Nunmehr können wir uns bezüglich der Genetik des schwarzen organischen Überzuges der Sinter aus der Baradla endgültig zur Theorie der Russablagerung bekennen. Der stellenweise hohe Gehalt an Quarz und anderen Mineralen der Russschicht ist also mit dem Russ keineswegs syngenetisch. Diese Minerale sind als Folge eines völlig anderen und fremden Vorganges zustande gekommen und das gleichzeitige Nebeneinander der zwei verschiedenen Stoffe stellt eine zufällige und nicht kausale Verknüpfung dar. Wie sehr diese Feststellung zutrifft, bekräftigen am besten diejenigen chemischen Untersuchungen in deren Zuge wir das von den abwärts gerichteten russigen Oberflächen des Fledermausastes abgeschabte Material analysierten. In diesem abgeschabten Material fanden wir unabhängig vom Vorhandensein des Russes auch für sich allein eine Anreicherung grossen Massstabes der erwähnten anorganischen Mineralien im Material der Muttertropfsteine.

Obwohl wir die geschilderten Ergebnisse vor vorliegendem Aufsatz noch nirgends, nicht einmal teilweise im Druck publiziert haben, gaben wir im Fachkreise oft als unserer festen Überzeugung Ausdruck, dass der schwarze Überzug nur eine Russablagerung sein kann. Im Zusammenhang damit wurde uns mehrmals die Frage gestellt: wie ist möglich, dass sich so grosse Mengen von Russ als Folge der Verbrennung einfacher Fackeln abgesetzt haben? Um alle unnötigen Diskussionen zu vermeiden, möchte ich als Antwort und zur Beruhigung der Fragesteller einige Sätze aus der Beschreibung der Beobachtungen von IMRE VASS, des hervorragenden Erforschers der Baradla-Höhle, zitieren. IMRE VASS hat nämlich den Vorgang des Absatzes selbst und auch sein Ausmass beobachtet.

Er schreibt (in möglichst getreuer Wiedergabe des ungarischen Textes): „Welchen grossen Einfluss der Rauch auf die Farben haben möge, wolle man danach beurteilen, dass ich, als ich bei meinem ersten Eintritt in die Riesen-Halle aus dem erwähnten, mit Wasser gefüllten Bassin meinen Durst befriediget hatte, ich dessen Ränder gewisslich alabasterweiss fand. Trotzdem, obwohl mein dortiges Verweilen von sehr kurzer Dauer war, fand ich, als ich drei Tage später dorthin kam und zur Löschung meines Durstes zum demselbigen Behälter niederkniete, dass gerade so, wie die Kupferstecher auf den Erd-Charten das Meer bezeichnen, ebenso bei meinem Anblasen eine Reihe schwarzer Kreise an der Wasserfläche gegen die Ränder des Beckens trieb, welche dann auf den weissen Rändern anhaftend, dieselben schwarz färbten. Was konnte es anders sein, als der Rauch, der Russ der von mir zwei Tage früher hineingetragenen Leuchten? Dieser geringe Rauch in so grosser Höhle, wenn er derart eine so grosse Veränderung der Farbe bewirkte, um wie viel mehr Verdunkelung müssen

wir für den Inhalt der alten Höhle voraussetzen, zumal wenn wir wissen, wie häufig deren Besucher darin einen bis zum Ersticken dicken Rauch verbreiten“.

Bei der Besprechung der postgenetischen Farben der Tropfsteine müssen wir noch zum Abschluss zwei äusserst interessante Phänomene erwähnen. Es ist dies das Vorkommen von einem in der Baradla- und Béke-Höhle in gleicher Weise auftretenden, bestimmt postgenetischen, sich auch in der Gegenwart bildenden blutroten oberflächlichen Überzuges, ferner die Tatsache der sehr rasch erfolgenden Lehmausfüllung einiger Höhlenteile, also des Aufhörens einiger Höhlenteile.

Die chemische Untersuchung des roten oberflächlichen Überzuges hat eindeutig gezeigt, dass es sich hier in allen Fällen um eine dünne Lehmkrustation mit hohem Eisen- und untergeordnetem Manganoxidgehalt handelt, welche sich auf dem oberen Teil der meisten weissen oder hellgelben Tropfsteine ausbildet. Es stellte sich bei der Untersuchung der rotinkrustierten Tropfsteine heraus, dass während des mehrere tausend Jahre betragenden Bildungsvorganges des unter der roten Kruste befindlichen Muttertropfsteines die rote Farbe überhaupt nicht vorkommt und nur die in den letzten 50–100 Jahren gebildete äusserste und jüngste Sinterhülle einen hohen Terra-rossa-Gehalt aufweist. Wir müssen deshalb bei der Untersuchung der Ursachen dieser Erscheinung diejenigen Veränderungen betrachten, welche im Vergleich zu den mehrtausendjährigen Entwicklungsbedingungen des Karstes in dem letzten Jahrhundert eingetreten sind.

Es stellte sich beim Vergleich der Höhlenkarten und der Oberflächenkarten heraus, dass die gegenwärtige starke Verschlammung, die intensive Akkumulation des roten Tones, welche sowohl in der Baradla- wie auch in der Béke-Höhle in solchen Höhlenteilen auftritt, über welchen die Karstflächen im letzten Jahrhundert entwaldet worden sind. Es handelt sich also einfach um eine in der Höhle in Augenschein tretende Äusserung der Abschlammung der einstigen Bodenschicht, von den ihrer natürlichen Pflanzendecke beraubten Karstflächen. Auf diesen entwaldeten Karstflächen wurde das tausendjährige Gleichgewicht der Bodenschicht zerstört und die Wasser schwemmen früher oder später den abgetragenen Boden durch das Kluftsystem des Karstgesteines in die Höhlen ein.

Die äusserst rapide und bedeutende Verschlammung bzw. das Aufhören der Hohlraumbildung, welche in einzelnen, in der Gegenwart keine aktive Wasserströmung mehr aufweisenden Abschnitten der Baradla- und Béke-Höhle zu beobachten sind (Märchenland, Goldstrasse, oberer Gang des Rettichastes, verstopfte siphonumgehende Äste usw.) stellen beängstigende Zeugnisse für den vor unseren Augen sich abspielenden Zerstörungsvorgang der Aggteleker Tropfsteinhöhlen dar, die letzten Endes die schädlichen, in ihren Konsequenzen vorher nicht bedachten Folgen der „Kulturtätigkeit“ des Menschen beweisen, welche sich bei der Besitzergreifung der Karstoberfläche ergab.

Literatur

- BEHREND, F.: Über die Bildung von Eisen- und Manganerzen durch deren Hydroxidsol auf Verwitterungslagerstätten. – Zeitschr. f. prakt. Geol. 32. 1924.
CHODADNY: Die Eisenbakterien. – Pflanzenforschung. Heft 4. 1926.
CYPRIAN, V.: Novejši theorie o vzniku teria rossy. – Sbornik Cs. Spol. zemepisné. Praha, 1949.
DANCZA J.: A cseppkövek fekete színeződése. – Természet és Technika, 1952. pp. 170–174.
DUNÁSZY E.: Helyzini vizvizsgálat. – Budapest, 1955.
HUBICH E.: Az Aggteleki Cseppkőbarlang és környéke. – Budapest, 1932.

- DUDICH, E.: Biologie der Aggteleker Tropfsteinhöhle Baradla in Ungarn. — Speleologische Monographien, XIII. Wien, 1932.
- FÖLDEVÁRI, A.: Gerölle mit Eisen- und Manganoxid-Rinde. — Zentralblatt f. Mineralogie. 1934. Abt. A.
- GUÉRIN, H.P.: Spéléologie. — Paris, 1944.
- KUNSKY, J.: Zur Altersfrage der Tropfsteine. — Vestník Stát. Geol. Ustavu, Praha, 1941. pp. 268–280.
- MAUCHA, R.: Hydrochemische Halbmikro-Feldmethoden. — Archiv. f. Hydrobiologie. Stuttgart, 1947.
- NYÁRY J.: Az Aggteleki barlang mint őskori temető. — Budapest, 1881.
- PRINZ, W.: Les cristallisations des Grottes de Belgique. — Bruxelles, 1908.
- TOMPA F.: A Nemzeti Múzeum ásatásai az aggteleki Baradla-barlangban. — Magyarország, 1929. dec. 18.
- TROMBE, F.: Traité de spéléologie. — Paris, 1952.
- VASS I.: Az aggteleki barlang leírása . . . — Pest, 1831.
- VÉRTES L.: A Baradla régészeti leletei. — Budapest, 1954. (Manuscript)

К ВОПРОСУ ОКРАСКИ КАПЕЛЬНИКОВ В ПЕЩЕРАХ

Л. ЯКУЧ

канд. географических наук

Статья дает сводное изложение результатов исследований по генетике окраски сталактитов и сталагмитов, проведенных автором в течение ряда лет в двух крупнейших карстовых пещерных системах Венгрии, а именно в пещерах *Барадла* и *Беке* (пещера *Мира*).

Автор резко различает сингенетическую окраску капельников от постгенетической. Под сингенетической окраской он подразумевает внутреннюю окраску массы капельника, которая во всех случаях, в течение всего периода роста образования, характерна для химических или физических растворенных примесей воды, отлагающей капельник. Эта внутренняя, «структурная» окраска капельника только случайно совпадает с окраской современной поверхности его, а во многих случаях она отличается от нее. Если окраска поверхности отличается от окраски внутренней массы капельника, то это явление обуславливается отличной, и в большинстве случаев, независимой от процесса образования капельника причиной. Именно эту поверхностную окраску и называет автор постными ландшафтными зонами.

Статья подробно излагает результаты анализа 14 335 образований капельников. Анализы распространились на следующие:

- а) Анализ химического состава по группам окраски.
- б) Анализ удельного веса по группам окраски.
- в) Изучение частоты распределения по группам окраски.
- г) Причины поразительных отклонений от средней частоты распределения в отдельных участках пещер.
- д) Связь между величиной образований и процентом частоты отдельных групп окраски.

На основании множества данных анализов оказалось возможным установить некоторые, кажущиеся общедействительными закономерные корреляции. В этой связи в качестве важнейшего положения в статье указывается, что бросающимся в глаза группировкам окраски капель-

ников тождественного характера в пещерах, на поверхности всегда соответствует и форменный элемент тождественного характера. Зоны окраски капельников пещеры всегда генетически связаны с поверхностно-генетической окраской.

В пещерах окрестности села Аггтелек постгенетическую поверхностную окраску чаще всего представляет некий натек черного цвета. Путем химического анализа можно выделить два вида этого черного натек, имеющих совершенно отличающееся происхождение. Так имеются поверхностные, черные натек, вещество которых состоит прежде всего из окиси марганца и железа. Вместе с тем другой вид черного натек представлен сажей, отлагавшейся из воздуха в тех частях пещеры, в которых проживали уже и люди доисторического времени и которые были, в течение последних столетий, посещены туристами с смоленными факелами. Автор выявляет два внутренних сажевых кольца и внутри капельников. При определении их возраста ему удалось отождествлять их с периодами заселенности «Бюккской» и «Галштатской» культур неолита, доказываемыми и археологическими находками.

Детально разбираются в дальнейшем результаты исследований, указывающих на то, что конденсирующаяся из воздуха пещеры вода вызывает вторичную коррозию на поверхностях капельников.

В заключение, на основании сравнения карт пещер и карт поверхности, автор устанавливает, что в тех участках пещеры, над которыми леса были истреблены в течение последнего столетия, можно наблюдать процессы прекращения пещер и заиления, достигающие крупных масштабов. Из этого следует, что с точки зрения развития глубоких карстовых явлений (образования пещер) лучшие и наиболее благоприятные условия имеются налицо не в голых карстовых областях, а в карстовых областях, покрытых вегетацией и лесной почвой.