

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE SCHWARZEN FÄRBUNGEN DER „BARADLA“-HÖHLE VON AGGTELEK

(Biospeologica Hungarica, XVII.)

von

MARIA WAGNER

Institut für Tiersystematik der Eötvös Loránd Universität, Budapest

Eingegangen: 15. Oktober 1962

Auf den einzelnen Gebilden, insbesondere auf der Oberfläche oder im Innern der Tropfsteine lassen sich oft von der Grundfärbung abweichende Verfärbungen, verschieden gefärbte Schichten beobachten. Diese Färbungen sind meistens sehr auffallend und besitzen oft eine sehr grosse Ausdehnung, so dass sie beeindruckend auf den Beobachter wirken. Es ist also verständlich, dass die Höhlenforscher auch bisher schon diesen Erscheinungen grösstes Interesse geschenkt haben.

Die grösste Höhle Ungarns, die Aggteleker „*Baradla*“-Höhle, verfügt ebenfalls über zahlreiche solche Verfärbungen. Es kommen hier orangegelbe bis fleischrote Farben vor, doch lassen sich hier und da auch blaue, grüngraue Überzüge nachweisen. Die grösste Verbreitung besitzen jedoch die schwarzen oder grauen Überzüge, mit denen ich mich in dieser Arbeit eingehender befassen werde.

Über die Entstehung dieser Verfärbungen liegt bereits eine reichliche Literatur vor, die Meinung der einzelnen Autoren jedoch ist nicht einheitlich. Im Zusammenhang mit der „*Baradla*“-Höhle befasste sich Anfang des Jahres 1800 zuerst R a i s z mit diesem Problem. Er war der Meinung dass diese auf Tropfsteinen, Felsen, verschiedenen Lehmgebilden sowie die auf dem Schotter des Bachbettes überall anzutreffenden schwarzen Überzüge von einem Höhlenfeuer stammen. Diese Ansicht wurde etwas später, 1831 von V a s s widerlegt und durch eine neue Theorie ersetzt, welche auch heute im Mittelpunkt der Diskussion steht. V a s s ist nämlich der Meinung, dass diese schwarzen Überzüge bzw. Ablagerungen aus der Zeit des Urmenschen stammen und hält sie für Russablagerungen. J a k u c s (1954) vertritt ebenfalls diese Ansicht, und zwar auf Grund der Untersuchungen von K i n c s e s, die erwiesen haben, dass diese Überzüge beinahe rein aus Kohlenstoff bestehen. Die Ergebnisse der chemischen Analysen von P á l y i (1960) bestätigen ebenfalls diese Anschauung, doch fand er die schwarzen Überzüge des Bachschotter und die roten Verfärbungen nicht aus Kohle bestehend. Er konnte in ihnen hohen Eisengehalt und zum Teil auch Mangan nachweisen. Aus diesen Untersuchungen folgert P á l y i, dass die Ablagerungen verschiedenen Ursprunges sind und zwar stammen die ersteren von Russ her, die letzteren sind Produkte von Eisen - und Manganbakterien. Übrigens wurde diese Ansicht zuerst von D u d i c h (1932) vertreten, als er das Vorhandensein von Eisen - und Man-

* Auch an dieser Stelle danke ich Herrn Dr. G. G e r e bestens für die Anregung des äusserst interessanten Problems, sowie für die selbstlose Hilfe mit der er die Untersuchungen stets unterstützt hat.

ganbakterien in der „*Baradla*“-Höhle erwähnte. Seine Aussagen beruhen auf Untersuchungen von V e n d l und Z s i v n y. Diesen Untersuchungen zu Grunde hält er die Eisen und Manganablagerungen des Schotters für Produkte der Bakterien, doch nimmt er an, dass ähnliche Überzüge auch physikalisch-chemischen Ursprunges sein können. Diese Überzüge unterscheidet er von den übrigen schwarzen Verfärbungen, die auch seiner Meinung nach von Russ herkommen. F ö l d v á r i (1934) befasste sich ebenfalls mit diesem Problem und ist bezüglich der Eisen- und Manganbakterien im grossen und ganzen ähnlicher Ansicht wie D u d i c h. Ganz verschieden ist hingegen bezüglich des Ursprunges dieser Ablagerungen die Ansicht von D a n c z a (1952). Seine Anschauung beruht auf den Untersuchungen von P e r c s, welche in den schwarzen Ablagerungen grosse Mengen von Kugelbakterien nachweisen konnten. D a n c z a hält die schwarzen Überzüge folglich für Stoffwechselprodukte der Bakterien, also von organischem Ursprunge. Derselben Meinung ist auch S z t r ó k a y (1959), er unterstützt seine Auffassung mit dem Umstand, dass die Verfärbungen amorph sind und dass in ihnen Kovagel vorhanden ist, welcher nur mit der Funktion lebender Organismen in Verbindung gebracht werden kann.

Aus den bisher erörterten Meinungen geht eindeutig hervor, dass die Ansichten bezüglich des Ursprunges bzw. der Zusammensetzung der schwarzen Überzüge bzw. Verfärbungen noch weitaus nicht übereinstimmend sind. Ohne die Literaturangaben kritisch zu werten, nehme ich an, dass diese verschiedenen Ursprunges sind, so dass die an den einzelnen Verfärbungen durchgeführten Untersuchungsergebnisse innerhalb ihrer Forschungsgebiete stichhaltig sein können. Offenbar müssen Unterschiede gemacht werden, einerseits zwischen den Überzügen des Bachschotters, andererseits zwischen den Verfärbungen der Felswände, Tropfsteine und den verschiedenen Lehmgebilden. Meine Untersuchungen haben jedoch erwiesen, dass der grösste Teil der schwarzen Überzüge unter solchen Umständen zustande gekommen ist von denen die bisherigen Literaturangaben nichts erwähnt haben, und zwar lebt in allen Teilen der „*Baradla*“-Höhle in grossen Mengen, die Isopoden – Art, *Mesoniscus graniger* J. F r i v., die sich von pflanzlichen bzw. tierischen Überresten ernährt und deren dunkelfärbige oder schwarze Exkreme auf den Felsen und Tropfsteinen sowie auf dem Boden der Höhle, überall wo die Tiere sich nur herumbewegt haben, anzutreffen sind. Die sich mit der Zeit offensichtlich in grossen Mengen angehäuften feinkörnigen Exkreme bildeten schliesslich an den verschiedensten Stellen der Höhle zusammenhängende Überzüge. Oft lassen sich in den Überzügen die einzelnen Exkrementkörnchen auch mit freiem Auge nachweisen, manchmal jedoch sind sie vom tropfenden Wasser vollständig aufgeweicht, so dass sie ihre Struktur vollkommen verlieren und als homogene Schichten erscheinen. Sind die Überzüge reicher an Exkremenssubstanzen, so erscheinen sie schwarz, wenn diese z. T. vom Wasser abgewaschen werden, so kommen die verschiedensten grauen Abstufungen zustande. Dieser Prozess lässt sich durch einen einfachen Versuch auch nachmachen. Zerreiben wir nämlich mit den Fingern die feinkörnigen Exkrementüberzüge, so erhalten wir ebenfalls eine graue Masse. Aus den Ausgesagten geht also hervor, dass an trockneren Stellen der Höhle vorwiegend schwarze Überzüge, während an feuchten Plätzen und in erster Reihe auf Tropfsteinen grösstenteils homogene graue Überzüge anzutreffen sind, welche noch heller

erscheinen, wenn sie durch neue Tropfsteinausscheidungen inkrustiert werden. Natürlich schliesst diese Feststellung das Vorhandensein von körnigen Exkrementen jüngeren Ursprunges auf Tropfsteinen nicht aus.

Nehmen wir an, dass die schwarzen Überzüge in der „*Baradla*“-Höhle grösstenteils von Exkrementen herkommen, so lässt sich auch die Erscheinung erklären, warum die sich auf nahezu waagrecht liegenden Felsen und Tropfsteinen sich befindlichen Überzüge dunkler sind als die auf den senkrechten Gebilden der Höhle. Die Exkremente bleiben selbstverständlicher Weise auf waagerechten Flächen unversehrter als auf senkrechten.

Die nachstehend angeführten Originalaufnahmen veranschaulichen die vorherigen Aussagen. Die erste Aufnahme stellt die Oberfläche eines Felsens mit vielen kleinen Exkrementüberzügen dar. In der Mitte überquert eben ein *Mesoniscus* das Bild. Auf dem zweiten Bild sind Teile von Tropfsteinen zu sehen. Auf den senkrechten Teilen der Tropfsteine kommen die Exkremente nur vereinzelt vor, während sie auf den nahezu waagrecht liegenden viel Häufiger anzutreffen sind. Die dritte Aufnahme veranschaulicht diese Verhältnisse aus der Perspektive gesehen. Die Exkrementkörnchen sind hier nicht mehr zu erkennen, die charakteristischen dunkleren Ausbildungen jedoch vom Neigungswinkel der Fläche abhängig, augenfällig.

Die in verschiedenem Zustand inkrustierten Exkremente wurden auch einer chemischen Analyse unterworfen. Es wurden die auf verschiedenen Gebilden angetroffenen, eine unversehrte Struktur besitzenden Exkrementteilchen, die bereits etwas inkrustierten Exkremente, ferner die auf Tropfsteinen einen homogenen grauen Überzug bildenden Schichten untersucht. Schliesslich wurden zum Vergleich auch solche schwarze Überzüge analysiert, von welchen angenommen wurde; dass sie auch Russ enthalten.

Die einzelnen Proben stammen aus folgenden Teilen der Höhle:

1. *Fuchsloch*. Auf Felsen der rechten Seite des zum Höhlenbiologischen Laboratorium führenden Weges. Diese Felsen werden von einer einheitlichen lehmigen Schicht bedeckt, auf deren Oberfläche sich eine zusammenhängender dunkelschwarzer Überzug ausgebildet hat. Die körnige Struktur der Exkremente ist nur hie und da zu erkennen, ansonst bildet der Überzug eine homogene, mit dem Messer leicht entfernbare Masse.

2. *Fuchsloch*. In den Teilen der Höhle die hinter dem Laboratorium liegen. Die Verfärbungen sind den vorhergehenden ähnlich, nur ist die Ausbreitung der Überzüge geringer.

3. Auf einem Felsen in der Nähe des *Grossen Teiches*. Die schwarzen Überzüge befinden sich hier ebenfalls auf einer dünnen Lehmschicht, sind jedoch von Kalkausscheidungen inkrustiert, so dass sie etwas schwerer wie die zuvorgehenden mit dem Messer zu entfernen waren.

4. Auf einem Felsen beim Aufstieg zum *Libanon*, auf der aggteleker Seite. Der dünne Überzug, der eine exkrementförmige Struktur vollkommen entbehrte, lag unmittelbar auf dem Gestein, eine Lehmschicht fehlte gänzlich. Der schwarze Überzug war von einer dünnen Kalkschicht überdeckt, so dass die Felswand ein graugefärbtes Aussehen erhielt. Mit dem Messer liessen sich diese Verfärbungen nur schwer entfernen.

5. *Fuchsloch*. Hinter dem Höhlenbiologischen Laboratorium auf der Oberfläche eines Stalagmites. Der dunkle Überzug war bezüglich Struktur und Inkrustierung der vorangehenden Ablagerung ähnlich.



Abb. 1. Die Oberfläche eines Felsens mit vielen kleinen Exkrementen. In der Mitte ein *Mesoniscus*



Abb. 2. Ein Senkrechter Teil von einem Tropfstein mit einzelnen Exkrementen



Abb. 3. Ein Teil von einem Tropfstein mit Exkrementen aus der Perspektive gesehen

6. Auf dem Felsen des Gewölbes vom *Königsbrunnen*. Der schwarze Überzug war hier gewissermassen anders als die bisher erwähnten Ablagerungen. Die schwarze Schicht fühlte sich etwas fettig an und war grösstenteils homogen. Exkrementteilchen liessen sich nur vereinzelt beobachten.

Meiner Ansicht nach stammen die Ablagerungen der Proben 1–5 von Exkrementen her, während die Probe 6 wahrscheinlich Russ enthält.

Die Bestimmung des Humusgehaltes der einzelnen Proben erfolgte mit dem von *Sarkadi* (1957, 1958) modifizierten Verfahren nach *Tjurin*. Der Kalziumgehalt wurde mit dem Scheiblerapparat bestimmt. (Die Beschreibungen der Methoden liegen im Handbuch von *Ballenegger* (1953) vor.)

Die Ergebnisse der Humusgehalt-Analysen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1.

Benennung der Fraktion	Serienzahl der Proben					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
I. Fraktion						
Huminsäure %	11,33	8,61	13,08	8,73	5,43	11,79
Fulvosäure %	10,30	2,90	6,58	2,22	1,34	–
Säurehaltiger Auszug %	1,67	–	4,42	–	–	9,45
II. Fraktion						
Huminsäure %	2,86	1,88	4,49	1,30	4,87	8,63
Fulvosäure %	1,56	1,86	–	–	2,53	–
III. Fraktion						
Huminsäure %	0,92	0,71	0,64	–	2,33	2,72
Fulvosäure %	–	–	–	–	–	–
Löserückstand %	12,81	17,28	12,10	1,75	1,95	11,12

Aus Tabelle 1 ist zu ersehen, dass das Verhältnis der einzelnen Fraktionsmengen im Vergleich zueinander – unabhängig von der Gesamthumusmenge – in erster Annäherung betrachtet, gleich ist. Die Ergebnisse der Probe 6 unterscheiden sich insofern von den übrigen, dass hier Fulvosäure nicht nachgewiesen werden konnte. Dies hängt höchstwahrscheinlich mit der bereits erwähnten Annahme in Zusammenhang, dass diese Probe grösstenteils aus Russ zusammengesetzt ist.

In Tabelle 2 ist der Gesamthumusgehalt und der Kalziumgehalt der Proben angeführt.

Die Angaben der Tabelle 2 zeigen, dass die Menge des Humus und Kalziums in gewissem Grade einander proportionell ist. Die Erklärung dafür liegt darin, dass die schwarzen Überzüge im allgemeinen immer nur eine sehr dünne Schicht bilden, und so sich von den darunter und darüber liegenden Substanzen nie gründlich entfernen lassen. Übrigens ist das Verhältnis von Humus und Kalzium der auf Kalksteinen geschichteten schwarzen Überzüge zusammen nahezu Hundertprozent. In viel geringerem Verhältnis sind diese beiden Sub-

Tabelle 2.

Serienzahl der Proben	Humus %	CaCO ₃ %	Beide zusammen %
1.	41,45	26,41	67,86
2.	33,24	33,13	66,37
3.	40,31	13,00	53,31
4.	14,00	86,88	100,88
5.	18,92	74,95	93,87
6.	43,71	9,77	53,48

stanzen in denjenigen Proben enthalten, deren Überzüge auf einer gewissen Lehmschicht gelagert waren. In diese Proben gelangten unvermeidlich stets auch Lehmteilchen, welche beim Nachweis von Humus und Kalzium natürlich nicht berücksichtigt wurden.

Wenn wir uns die Ergebnisse der Proben ohne dem Kalziumgehalt und auch ohne den nicht bestimmten Lehmmengen vorstellen, ferner die bisher Ausgesagten berücksichtigen, so lässt sich — mit Ausnahme von Probe 6 — feststellen, dass die analysierten Überzüge aus humusartigen (kohlenstoffhaltigen) Substanzen bestehen. Die Ergebnisse meiner Analysen stimmen also bezüglich des Humus bzw. Kohlenstoffgehaltes, in den schwarzen Überzügen, mit den Feststellungen der weiter oben angeführten Forscher überein. Die Analysen unterstützen gleichzeitig jedoch auch meine Annahme, dass die schwarzen Überzüge von Exkrementen herkommen. Es wurden nämlich Exkremeute auch von dem Isopoden *Mesoniscus graniger* J. F r i v. analysiert, welche ebenfalls äusserst hohen Humus (Kohlenstoff)-Gehalt aufwiesen (über 90%). Das Ergebnis der Analyse von Probe 6 weicht auch bei dieser Bestimmung von den übrigen ab. Der Humus- und Kalziumgehalt ist — wenn auch in Betracht genommen wird, dass diese Probe nicht auf einer Lehmschicht angetroffen wurde — viel geringer wie bei den anderen. Es sei erwähnt, dass der Russ — dessen Vorkommen in der Probe vorausgesetzt wird — auch solche Substanzen enthält, die mit dem Verfahren nach T j u r i n nicht als Humusstoffe bestimmt werden konnten.

Zum Schluss sei noch auf das Vorkommen von Bakterien in den Überzügen eingegangen. Die von mir analysierten Proben wurden bezüglich ihrer Bakterienflora nicht untersucht. Es liegt aber kein Grund vor, die von D a n c z a festgestellten Kugelbakterien in Abrede zu stellen. Ich bin jedoch der Meinung, dass die schwarzen Verfärbungen nicht von Bakterien erzeugt werden, sondern sie kommen deswegen in ihnen vor, weil die Exkremeute für sie einen guten Nährboden bilden.

Zusammenfassung

In der Literatur wird das Abstammen der auf den einzelnen Gebilden in der Aggteleker „Baradla“-Höhle vorkommenden schwarzen Überzügen verschieden gedeutet. Hinweise darauf, dass diese Verfärbungen von den Exkrementen des Isopoden *Mesoniscus graniger* J. F r i v. erzeugt werden können, sind bisher nicht erfolgt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die schwarzen

Überzüge grösstenteils von diesen Exkrementen herkommen. Die dunklen Exkremente sind entweder in Form von winzigen Körnchen oder in aufgelöster, verwischter Form in grossen ausgedehnten Mengen auf den einzelnen Gebilden der Höhle anzutreffen. Auf Grund der chemischen Analyseergebnisse besitzen die in Frage stehenden Überzüge einen hohen Humusgehalt, so dass die Voraussetzung bezüglich des Abstammens von Exkrementen, auch dadurch unterstützt werden konnte.

РЕЗЮМЕ

Происхождение черного налета, находящегося в пещере „Барадла” при с. Аггтелек толкуется разное в литературе. Но мы не нашли никакого указания на то, что и равноногие *Mesoniscus graniger* J. Friv. могут вызывать такие окраски. Установлено, что значительная часть почернения в пещере происходит от испражнений этих же животных. Испражнение темного цвета этих животных находится в большом количестве частью в зернистой форме, частью в растертом состоянии на поверхности пещерных образований. По результату химических анализов упомянутые налеты содержат очень большое количество гумуса, что утверждает замысль об их происхождении от испражнений.

SCHRIFTTUM

- Ballenegger, R. 1953: Talajvizsgálati módszerkönyv. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Danza, J. 1952: A cseppkövek színeződéséről. Természet és technika. 21. 170 – 174.
- Dudich, E. 1932: Az Aggteleki cseppkőbarlang és környéke. Magyar Királyi Term. Tud. Társulat Kiadó. Budapest.
- Dudich, E. 1932: Biologie der Aggteleker Tropfsteinhöhle „Baradla” in Ungarn. Verlag Speläologisches Institut. Wien.
- Erdey, L. 1951: Bevezetés a kémiai analízisbe I. rész. Tankönyv Kiadó. Budapest.
- Földvári, A. 1934: Gerölle mit Eisen und Manganoxyd Rinde. Centralblatt f. Min. etc. 230 – 233.
- Jakucs, L. 1952: Aggteleki Cseppkőbarlang. Művelt Nép Kiadó. Budapest.
- Jakucs, L. 1954: Az Aggteleki Cseppkőbarlang fekete színeződéséről. Idegenforgalmi Tájékoztató. 5. 4 – 18.
- Pályi, Gy. 1960: Cseppkövek és bevonatok színének tanulmányozása (I.) Karszt és barlang kutatás I. 109 – 113.
- Sarkadi, J. 1957: Adatok a talaj szervesanyagáról. Agrokémia és talajtan. 6. 311 – 320.
- Sarkadi, J. 1958: A Westsik-féle homoki vetésforgó kísérletek talajának humuszviszonyai. Magyar Tud. Akad. Agrártud. O. Közlem. 14. 345 – 367.
- Sztróka, K. 1959: Ásványtani megfigyelések az Aggteleki barlangból. Földtani Közlemények 89. 280 – 285.
- Tjurin, I. 1951: K metode analiza dlja szravitelnovo izucsenija szosztava pocsvennavo ili humusza. Izdagyelsztvo Akademii nauk Sz. Sz. R. 5 – 21.
- Tjurin, I. 1951: Nyekatorüje rezultatü rabot po szravitelnomu izucsenija szosztava humusza v pocsvah Sz. Sz. Sz. R. Izdagyelsztvo Akademii nauk Sz. Sz. R. 22 – 32.
- Vass, I. 1831: Az Aggteleki barlang leírása. Pest.
- Waksman, 1938: Humus. II. kiadás. London.