

Biosignaturen in Achaten von Kerrouchen, Marokko

von Ulf Thewalt und Gerda Dörfner (Gerstetten, Deutschland)

Außer cm-großen blumenkohlformigen Bakterienkolonien kommen weitere Biosignaturen in Achaten von Kerrouchen vor. Die mikroskopisch kleinen Gebilde kann man vor allem in den an die „Blumenkohle“ angrenzenden Bereichen und weiter innen in den Achaten finden. Fadenförmige, rundliche und kugelförmige Bildungen sind zu nennen sowie Aggregate, die aus diesen Komponenten zusammengesetzt sind. Als Verursacher kommen kettenbildende und kokkenförmige Bakterien in Frage.



Abb. 1: Achat von Kerrouchen, Marokko. 13,1 cm. Die Wände des ehemaligen Hohlraums sind mit eingekieselten, blumenkohlähnlichen Gebilden besiedelt. In den umgebenden orangen, roten, violetten und farblosen Bereichen liegen parallel zueinander verlaufende Chalcedonbänder vor. Im zentralen Bereich ist Megaquarz auskristallisiert. Foto und Sammlung Thewalt.

Einführung

Je genauer man einen Achat betrachtet, desto mehr interessante Details lassen sich erkennen. Mit „genau betrachten“ ist hier gemeint, dass man den Achat unter eine

Stereolupe oder ein Mikroskop legt und sich Zeit für das Betrachten nimmt. Die vorliegende Notiz betrifft Achate aus dem Gebiet von Kerrouchen, einem kleinen Ort

im mittleren Atlas in Marokko.

Das Gestein, aus dem die Achate stammen, ist Basalt aus der Trias. Die besondere Schönheit der dortigen Achate ist in einer Reihe von Publikationen dokumentiert (beispielsweise Mayer 2013 und 2017, Zenz 2014). Mit Achaten von Kerrouchen beschäftigt sich auch ein Bericht, in dem gezeigt wird, was mit modernen physikalischen Methoden alles gemessen und dann berechnet und abgeleitet werden kann (Natkaniec-Novac & al. 2016). Die Rolle von Bakterien bei geologischen Prozessen wird zunehmend erkannt (Campos-Venuti 2022). Als eine entsprechende Publikation mit Achaten im Fokus ist die reich illustrierte Arbeit von Schmitt-Riegraf & Riegraf (2015) zu nennen. In dieser werden an Hand von Achaten aus der Gegend von Idar-Oberstein - insbesondere aus dem Steinbruch Juchem - relevante Fakten vorgestellt und erläutert. Fängt man erst einmal an, auf Spuren von Mikroorganismen in Achaten zu achten, so findet man solche in Achaten von unerwartet vielen Fundstellen.

Bei den Kerrouchen-Achaten fallen vor allem die blumenkohlähnlichen cm-großen Bakterienkolonien auf, die sich in den äußeren Bezirken der Achate befinden (**Abb. 1**). Manchmal werden sie als Plumes bezeichnet (McMahan 2009). Um diese Gebilde geht es hier aber nicht. Hier sollen die vergleichsweise einfach gebauten mikroskopisch kleinen Biosignaturen vorgestellt werden. Solche kommen hauptsächlich in Chalcedonbereichen weiter innen in den Achaten und zwischen den „Blumenkohlen“ vor.

Eine Anmerkung zur Ausdrucksweise: Die blumenkohlähnlichen oder wie Gestrüpp oder wie Schläuche aussehenden Gebilde werden im Folgenden einfach als „Blumenkohl“ bzw. „Gestrüpp“ bzw. „Schläuche“ (jeweils mit Anführungszeichen!) bezeichnet.

2 Fadenförmige und andere längliche als Biosignaturen gedeutete Bildungen

Im Inneren und an den Rändern der „Blumenkohle“ bestimmen schlauchförmig aussehende Bildungen weitgehend das Bild. In den umgebenden Bereichen ist es anders.

Hier findet man kurze und lange gerade und gekrümmte Fäden ohne schlauchartige Hüllen. Manche Fäden sehen aus, als bestünden sie aus glattem konstant dickem Draht. Bei anderen ist in mäßigem Umfang Umkrustung durch Eisenoxide erfolgt. Auch Aggregate aus solchen Bauelementen kommen vor.

Bei der Entstehung all dieser Objekte dürften Bakterien bzw. strangförmige Bakterienkolonien mitgewirkt haben, die in bereits vorhandenem Kieselgel gewachsen sind, die also jünger sind als die „Blumenkohle“. Die Tatsache, dass die Gebilde frei in der Chalcedonmasse schweben, deutet darauf hin, dass sie in weichem gelartigem Kieselsäurepolymerisat entstanden sind.

Dadurch waren sie am Ort ihrer Bildung fixiert und konnten nicht auf den Boden der Geoden sinken. Bei der so genannten Gelkristallisation in der präparativen Chemie ist es ähnlich. Hierbei lässt man kristalline Substanzen schonend in weichem Kieselgel wachsen.

Auffallend an einem Teil der Einschlüsse sind die wiederkehrenden Farbmuster. speziell die Verteilungen von Rot (Hämatit) und Gelb (Goethit). Ähnliches ist an den „Mikrosphären“ (**Abschnitt 3.1**) zu beobachten. Die interessante Frage, ob, beziehungsweise inwieweit jetzt noch die ursprünglich abgeschiedenen Eisenminerale vorliegen, ist noch zu klären.

2.1 Gebogene und spiralförmige rote glatte Fadenstücke

Solche Einschlüsse kann man in den trüben Chalcedonbereichen finden, von denen die „Blumenkohle“ umgeben sind. Dort treten sie als Begleiter von „Mikrosphären“ auf (**Abb. 2, 3**). (Näheres zu „Mikrosphären“ s. **Abschnitt 3.1**).

Besonders die spiralförmigen Gebilde

fallen auf. Man denkt unwillkürlich an spiralförmige Bakterien (Spirillen). Auffallend ist, dass die Fäden eine nahezu konstante Dicke besitzen, gleiche Farbe aufweisen (braun, kupferrot), und nicht überkrustet sind.

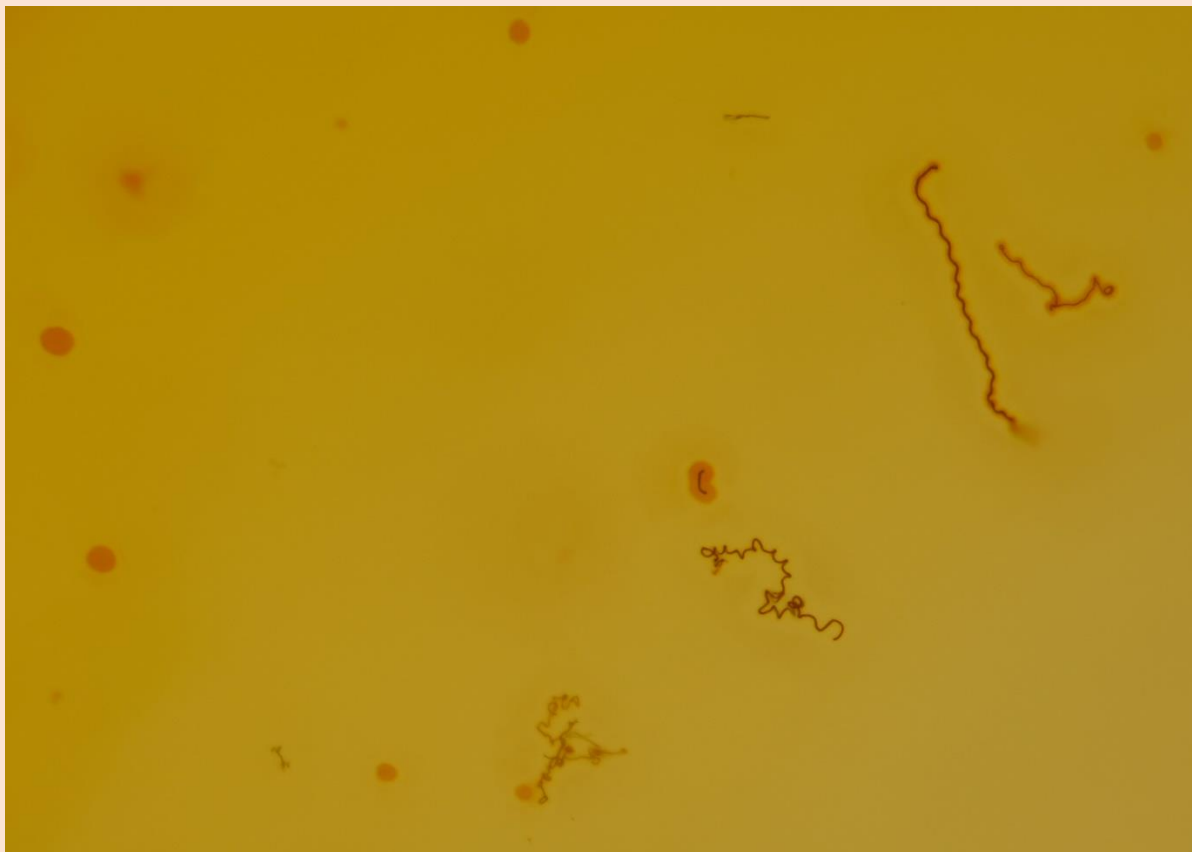


Abb. 2: Fadenstücke, die in der Chalcedonmatrix schweben. Wahrscheinlich handelt es sich um Bakterienstränge, die an Ort und Stelle gewachsen sind.

Die dunkelrote Farbe deutet auf die Aktivität eisenoxidierender Bakterien.

Bildbreite 0,6 mm.

Alle Fotos in diesem Artikel stammen von Ulf Thewalt.

Die abgebildeten Achate befinden sich in der Thewalt-Dörfner-Sammlung.



Abb. 3: Spiralförmiges Fadenstück. Bildbreite 0,36 mm.

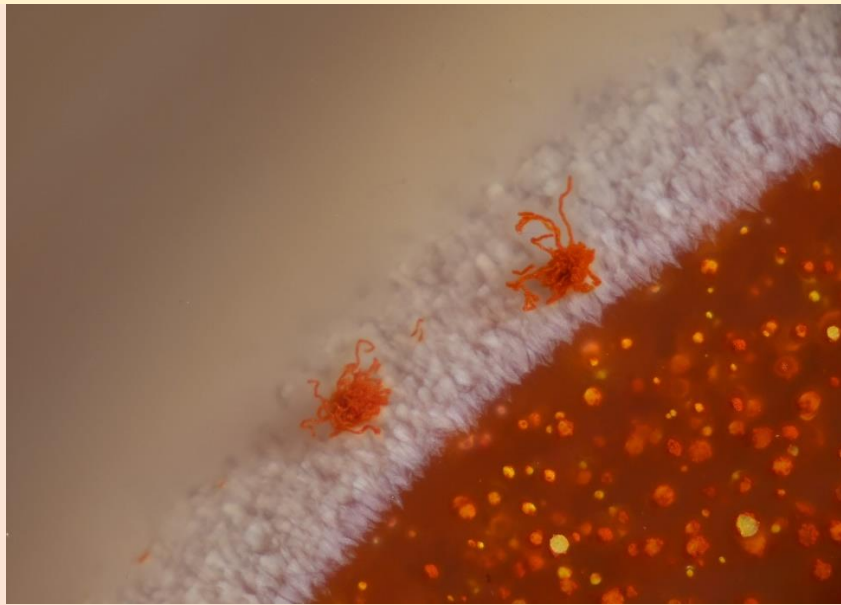
2.2 Knäuelartige rote Fadenaggregate

Solche Gebilde kommen nur in manchen Achaten vor (**Abb. 4**). Dass man es hier mit Resten Kolonien bildender Organismen (Bakterien) zu tun hat, ist wohl nicht zu bestreiten – jedenfalls was die Morphologie betrifft. Entstehung und Wachstum ähnlich aussehender dreidimensionaler

Bakterienkolonien ist ein Forschungsgebiet in der medizinischen Mikrobiologie (beispielsweise Mamou & al. 2016). Wenn solche Knäuel vorkommen, kommen sie zu mehreren vor. **Abb. 5** zeigt zwei Knäuel, die im gleichen Chalcedonband gewachsen sind. Sie sind also wahrscheinlich gleichzeitig entstanden.



Abb. 4: Knäuelartige Kolonie aus Bakteriensträngen. Bildbreite 0,8 mm.



**Abb. 5: Die knäelförmigen Aggregate haben sich im gleichen Chalcedonband gebildet.
Bildbreite 1,6 mm.**

2.3 Bündel aus gelben Bakteriensträngen

In etlichen Achaten von Kerrouchen lassen sich Aggregate aus jeweils mehreren gelben linearen oder gebogenen Baugruppen finden. Manche Aggregate sehen aus, als bestünden sie aus länglichen Kristallen

(gerade Form, spitz zulaufend). Andere machen einen eher „organischen“ Eindruck (gebogene Form, Gabelungen, z. T. sehr dünn) (**Abb. 6 - 9**). Das bedeutet, dass sie als Biosignaturen aufzufassen sind.



**Abb. 6: Aggregat aus vielen dünnen kurzen Fäden, wahrscheinlich von Bakterien herrührend.
Bildbreite 2,4 mm.**



Abb. 7: Aggregat aus relativ großen Komponenten. Die Morphologie deutet darauf hin, dass hier Biosignaturen vorliegen. Bildbreite 1,6 mm.



Abb. 8: Auf den Ästen dieser gelben Fadenkolonie haben sich viele wie Parasiten aussehende Hämatitaufwachsungen abgeschieden. Bildbreite 1,36 mm.

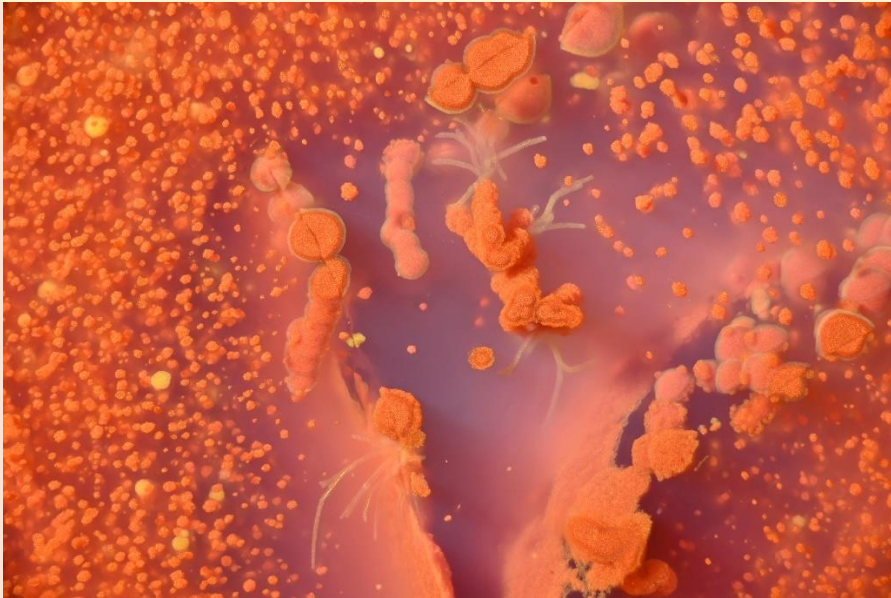


Abb. 9: „Schlauchartige“ Bildungen mit sehr dünnen gelben Zentralfäden. Letzteres ist in dem „Schlauch“ im unteren Bildbereich zu erkennen. Bildbreite 1,6 mm.

2.4 Sehr dünne Filamente

Solche Fäden mit einer beträchtlichen Länge schweben in der durchsichtigen farblosen Chalcedonmatrix und kommen in der Nachbarschaft mancher „Blumenkohle“ vor, bzw. fallen dort auf (**Abb. 10, 11**). Die Fäden sind mehr oder weniger stark gekrümmt. Auch Verzweigungen gibt es.

Es handelt sich also wahrscheinlich um fadenförmige ehemalige Bakterienaggregate. Man kann sie formal als Zentralfäden von Moosachatröhren ansehen, denen die Hüllen abhanden-gekommen sind.

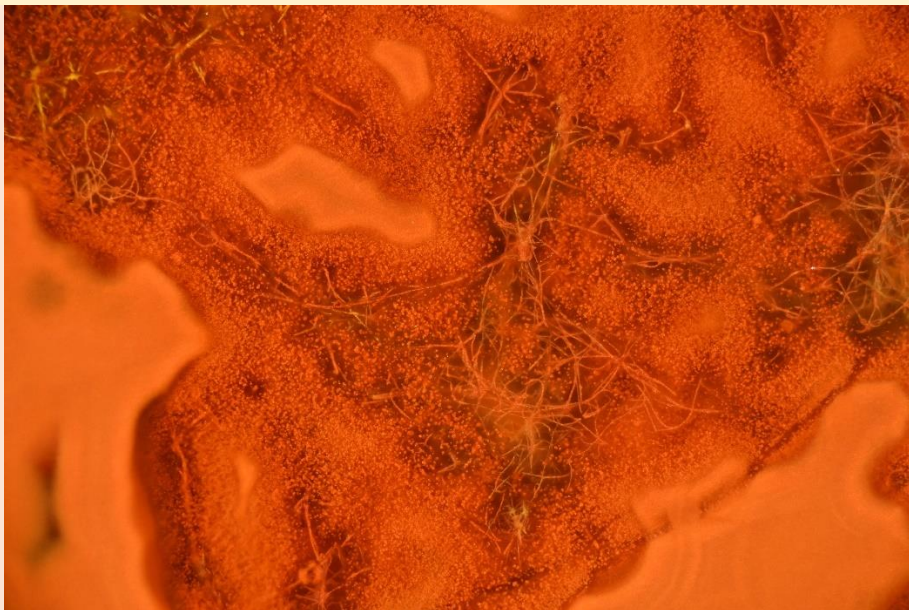


Abb. 10: In den Chalcedonbezirken, die an die „Blumenkohle“ angrenzen, kommen solche langen, als Bakterienketten angesehene Fäden vor; hier offenbar mit einer dünnen Kruste aus Eisenoxiden überzogen. Bildbreite 1,6 cm.



Abb. 11: Dünne lange Filamente; weniger überkrustet als in Abb. 10. Bildbreite 0,8 mm.

3 Weitere (wahrscheinliche) Biosignaturen

3.1 Rote und gelbe rundliche Einschlüsse („Mikrosphären“)

Die Farbskala der farbigen gebänderten Bereiche von Kerrouchen-Achaten reicht von Tieftrot über Orange bis zu Kanariengelb. Diese Farben sind, wie allgemein angenommen wird, durch Einschlüsse von Hämatit (rot) bzw. Goethit (gelb) verursacht (Götze 2011, Götze & al. 2020).

Es ist denkbar, dass das Auftreten der Eisenoxidabscheidungen in Achaten durch eisenoxidierende Bakterien bedingt ist. Deshalb werden die rundlichen Einschlüsse hier erwähnt. Argumente für eine Beteiligung von Organismen bei der Entstehung - insbesondere der roten Exemplare - bringen Schmitt-Riegraf & Riegraf (2015). Dort werden sie als „Mikrosphären“ bezeichnet. Der Ausdruck wird hier übernommen, auch wenn er wörtlich genommen nur selten passt.

Unterschiedliche Farbtöne der Achatbänder in Achaten von Kerrouchen sind durch unterschiedliche Mengenverhältnisse und unterschiedliche Größe der roten und gelben „Mikrosphären“ bedingt. Wie auch bei Achaten von anderen Fundstellen, liegen häufig Bänder mit nur roten und Bänder mit nur gelben Einschlüssen direkt nebeneinander. Auch Bänder, in denen rote und gelbe „Mikrosphären“ gemischt vorkommen, sind nicht selten. Und es gibt „Mikrosphären“, innen mit der einen Farbe, außen mit der anderen. Auch „Mikrosphären“, auf denen „Mikrosphären“ der jeweils anderen Sorte wie kleine Parasiten sitzen, sind nicht selten (**Abb. 12**). Im oberen Bereich von Abbildung 12 ist zudem zu erkennen, dass „Mikrosphären“ aus kleineren „Mikrosphären“ aufgebaut sein können. Ein weiterer Punkt: Wenn man danach sucht, findet man leicht Beispiele für lokale Anreicherungen von „Mikrosphären“ innerhalb eines

Achatbandes und auch für Aggregate, bei denen unterschiedlich große „Mikrosphären“ zusammengewachsen sind

(Abb. 13). Die skizzierten Beobachtungen stehen in Einklang mit einer biotischen Entstehung von „Mikrosphären“.



Abb. 12: Gelbe „Mikrosphären“ sind hier von kleineren roten „Mikrosphären“ besiedelt. Wenn die Überkrustung in größerem Ausmaß erfolgt, hat man „Mikrosphären“, die innen gelb und außen rot sind. Im oberen Bereich der Abbildung ist zu erkennen, dass rote „Sphären“ aus kleineren „Mikrosphären“ aufgebaut und auch hohl sein können. Bildbreite 1,6 mm.

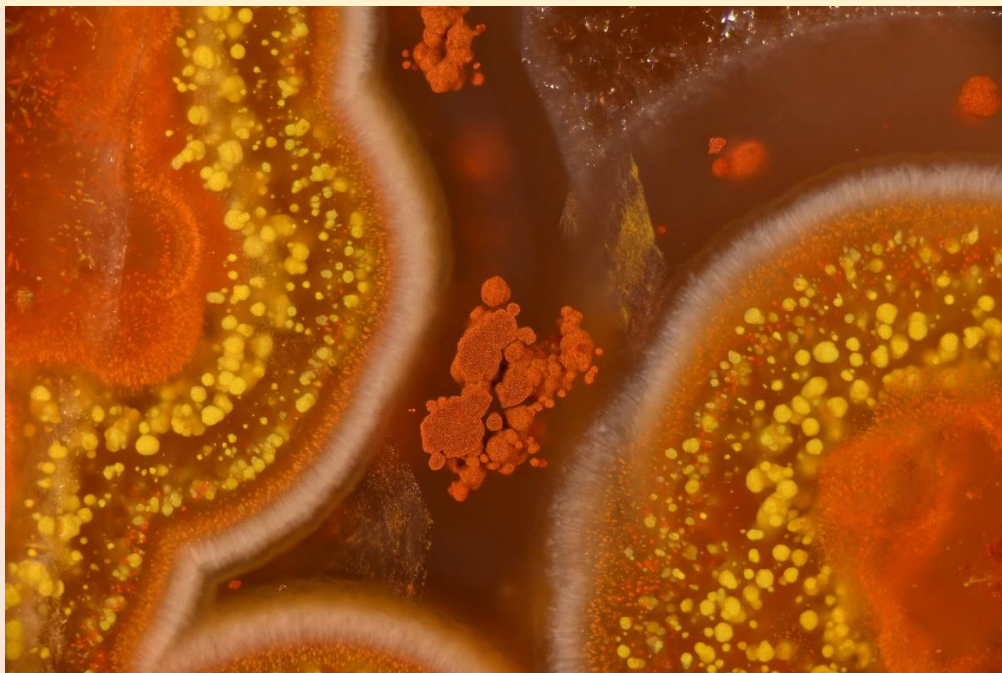


Abb. 13: In der Bildmitte Aggregat aus mehreren zusammengewachsenen „Mikrosphären“. Bildbreite 1,6 mm.

3.2 „Mikrosphären“ mit geraden und gebogenen Auswüchsen

Wie die nachfolgend beschriebenen Gebilde zu interpretieren sind, ist unklar. In einigen Achaten gibt es rote „Mikrosphären“, auf denen plump aussehende Auswüchse vorkommen (**Abb. 14**). Es gibt aber auch recht hübsch aussehende (**Abb. 15, 16**). Bei den beiden letzten Fotos könnte man meinen, kleine Seeigel in trübem Wasser vor sich zu haben. Die Auswüchse sind zum Teil gerade, zum Teil leicht gebogen. Der Gestalt nach handelt es sich hier nicht um Vorstufen der knäuelartigen Gebilde von

Abb. 4 und 5. Bei **Abb. 16** fällt die spiralige Form eines der Auswüchse auf. Auswüchse kommen auch an gelben „Mikrosphären“ vor (**Abb. 17, 18**), offenbar nur jeweils einer pro „Mikrosphäre“. Die Stacheln von **Abb. 18** sind leicht sichelartig gebogen und spitz zulaufend. Die Formen auch dieser Auswüchse sprechen eher für eine Beteiligung von Organismen bei der Entstehung als für eine rein anorganische Entstehung.

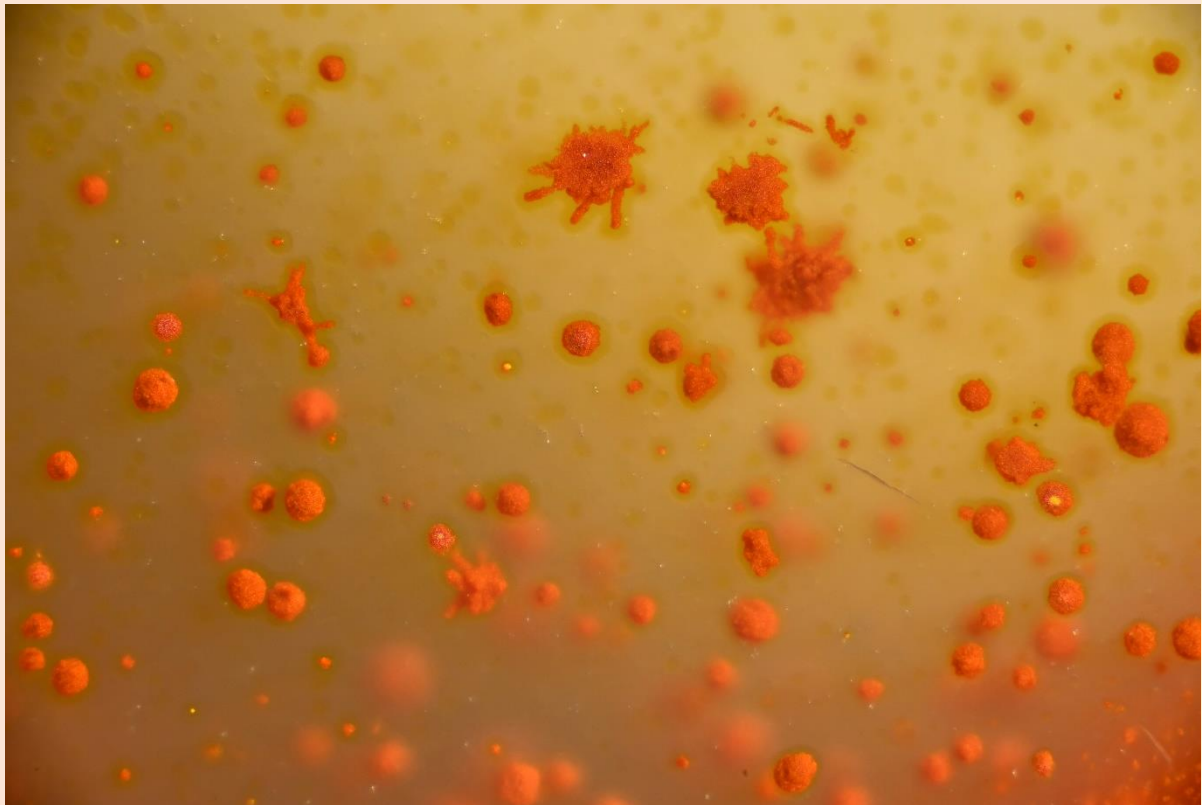
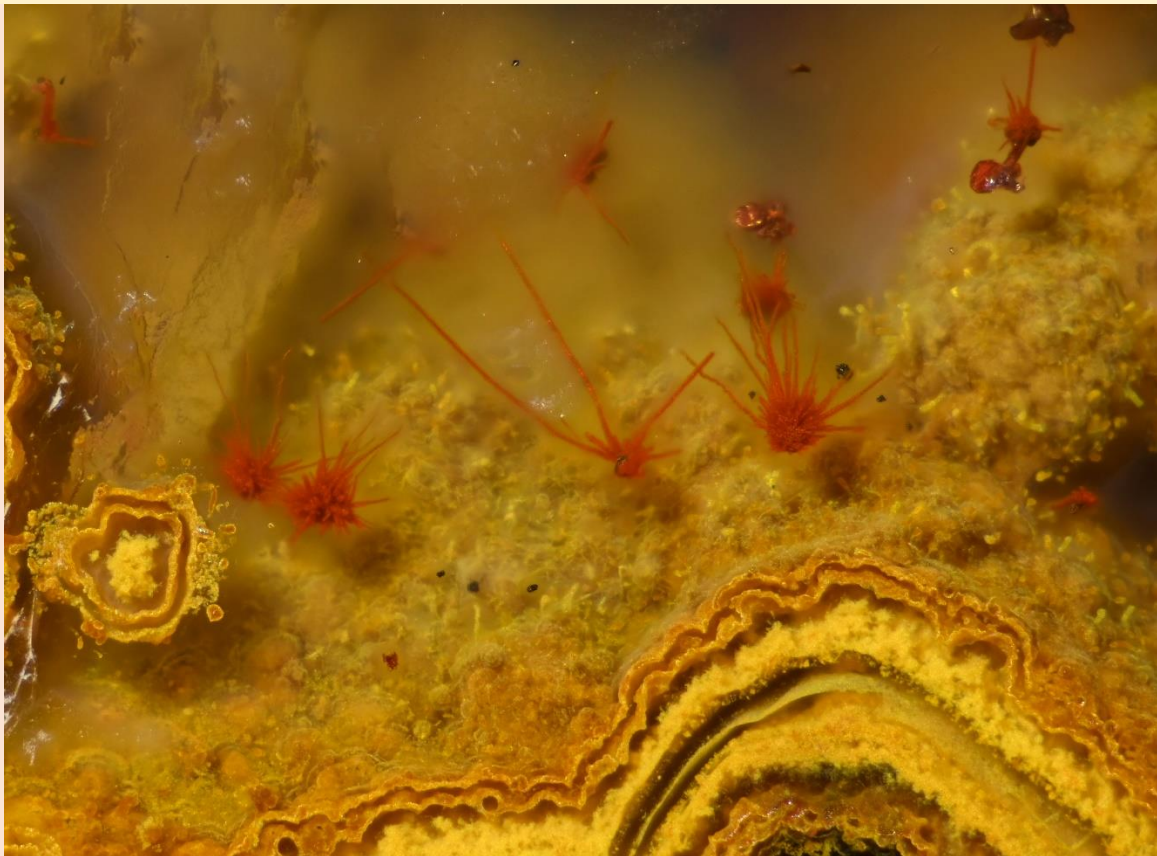


Abb. 14: Kurze stabförmige Aufwachsungen auf einer roten „Mikrosphäre“.
Bildbreite 1,6 mm.



**Abb. 15: „Mikrosphären“ mit jeweils wenigen stachelförmigen Aufwachsungen.
Bildbreite 1,24 mm.**



Abb. 16: Gleichartige rote Gebilde wie in Abb. 15. Auffallend ist die spirale Form einer der Dornen im oberen Bildbereich. Bildbreite 0,8 mm.

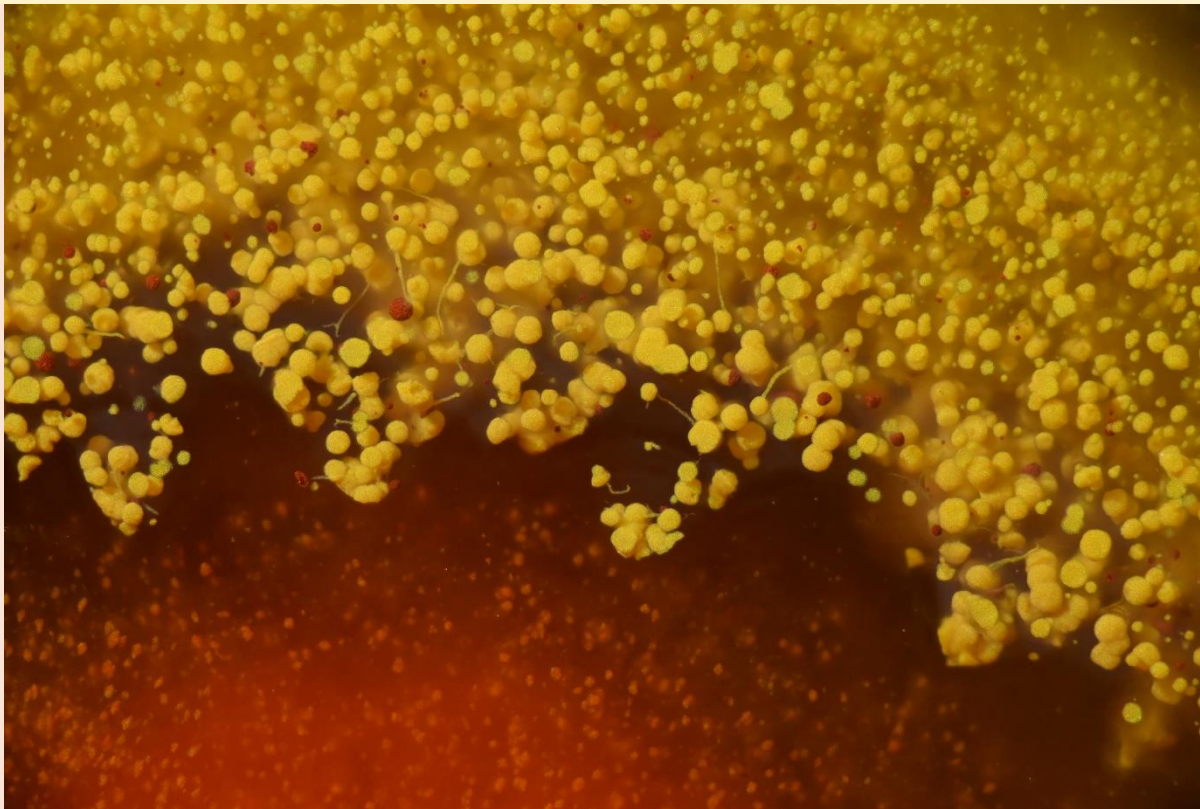


Abb. 17: Ein Teil der gelben „Mikrosphären“ ist hier mit jeweils einem gekrümmten „Stachel“ bewachsen. Bildbreite 1,6 mm.

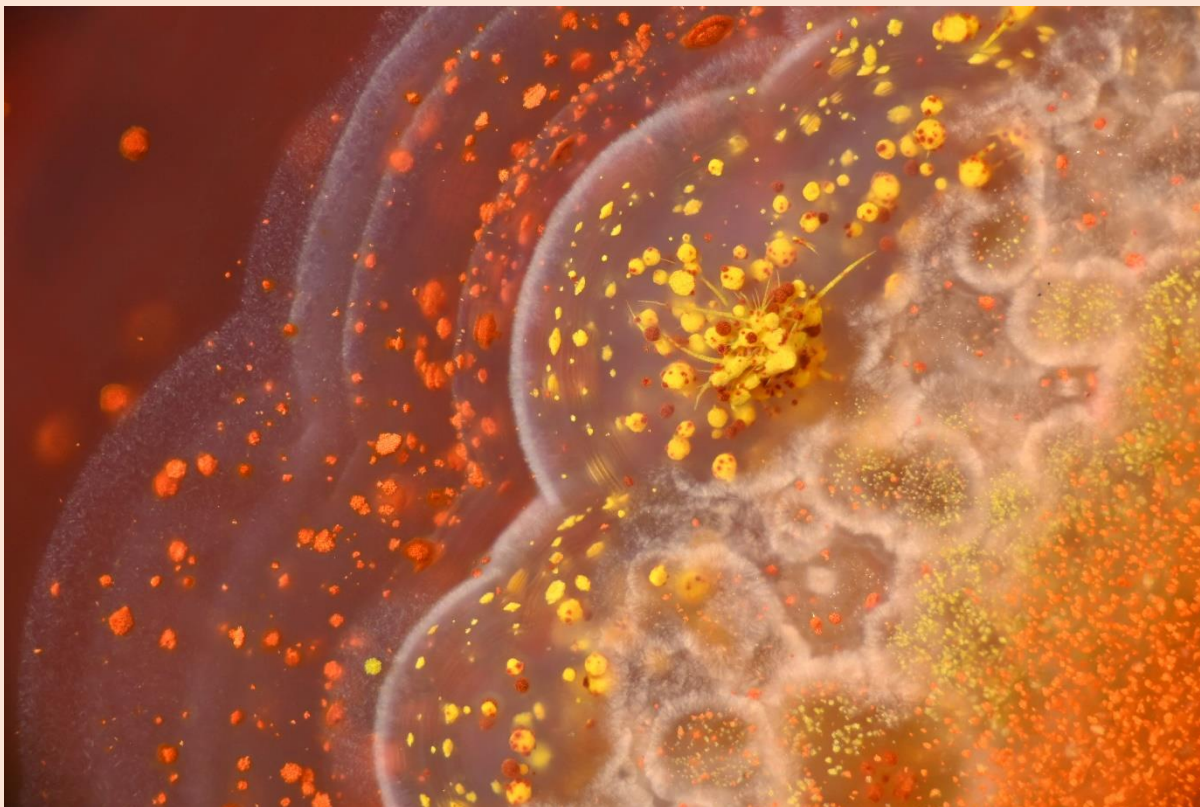


Abb. 18: Lockeres Aggregat aus mehreren gelben „Mikrosphären“ mit je einem „Stachel“.
Bildbreite 1,6 mm.

3.3 Kokkenförmige Bakterien als mögliche Startobjekte von Sphärolithen

In einem der verfügbaren Gangachate von Kerrouchen fielen in der Nachbarschaft von „Blumenkohlen“ große Mengen kugelförmiger Einschlüsse auf (**Abb. 19, 20**). Achate mit Anhäufungen kleiner Kügelchen kennt man auch von anderen Fundstellen im Atlasgebirge. Verglichen mit den „Mikrosphären“ von Absatz **3.1** sind sie nicht nur rundlich, sondern tatsächlich kugelförmig. Kokkenförmige Bakterien dürften als eine Art Impfkristalle für die Kristallisation nadelförmiger SiO_2 -Kristalle

fungiert haben. Die Beobachtung, dass die Durchmesser variieren, lässt sich dadurch deuten, dass die Kügelchen nicht gleichzeitig entstanden sind. Oft sind die Kügelchen mit Kristallen eines gelben Minerals überkrustet (Goethit?). Manche Kügelchen zeigen einen schaligen Bau. Ansammlungen ähnlich großer, als Reste von Purpurbakterien gedeuteter Gebilde aus einem Achat von Idar-Oberstein sind bei Schmitt-Riegraf & und Riegraf (2015) abgebildet.

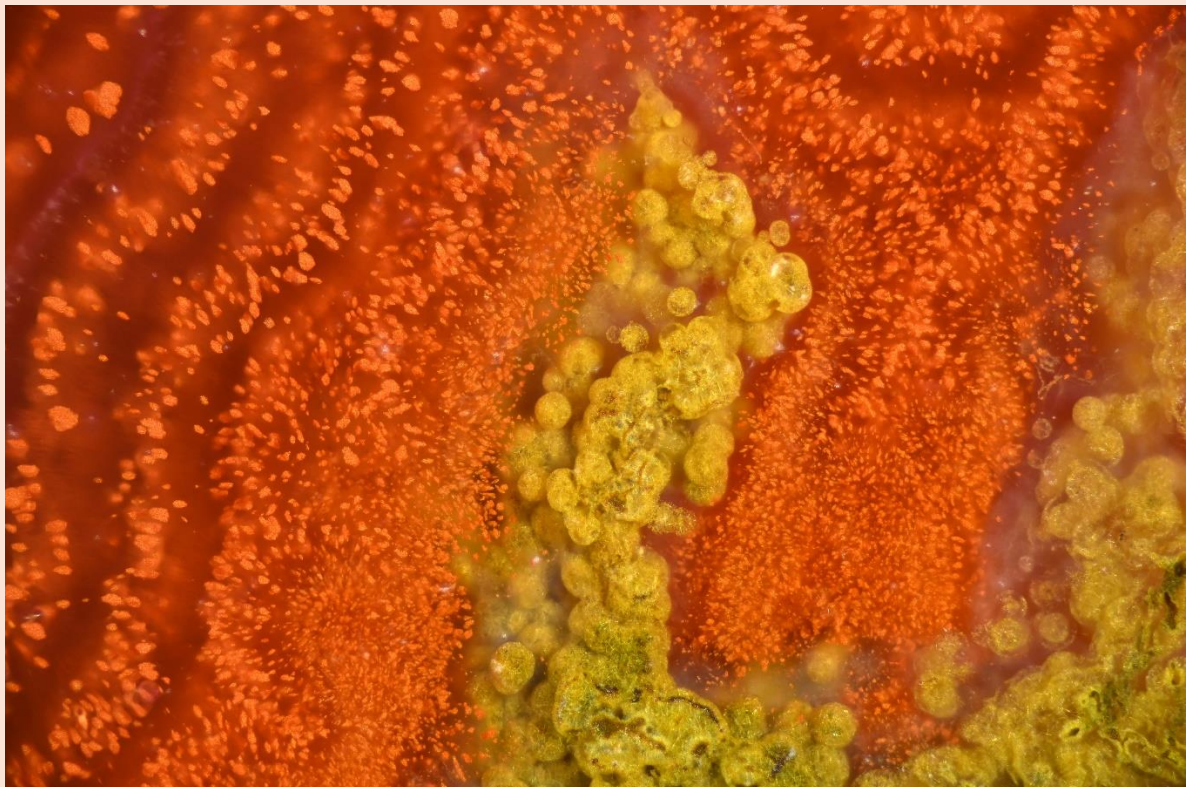


Abb. 19: Anhäufung sphärolithisch strukturierter Kügelchen.
Ihre Bildung ist möglicherweise durch kokkenförmige Bakterien initiiert worden.
Bildbreite 1,6 mm.



**Abb. 20: Die Kügelchen kommen nicht selten zusammen mit fadenförmigen Biosignaturen vor.
Bildbreite 1,6 mm.**

Anmerkungen

Die Achate, auf denen der vorliegende Bericht basiert, haben wir auf Achatbörsen und via ebay zusammengetragen. Die Fotos stammen von den Autoren. Sie wurden mit einem klassischen Mikroskop, kombiniert mit einer Systemkamera an polierten Anschliffen hergestellt.

Jeweils mehrere Einzelaufnahmen wurden mit Hilfe des Programms Helicon Focus (HeliconSoft, 61062 Charkiv, Ukraine) „gestapelt“. Dadurch ließ sich eine gegenüber Einzelaufnahmen erhöhte Tiefenwirkung erreichen.

Literatur

CAMPOS-VENUTI, M. (2022): Biominerals – Microbial Life in Agates and other Minerals. Eigenverlag. 526 S.

GÖTZE, J., MÜLLER, A., POLGARI, M. & PAL-MOLNAR, E. (2011): Biosignaturen in Achat/Chalcedon – Die Rolle von Mikroorganismen bei der Bildung von SiO₂. Mineralien Welt 1/2011. Bode Verlag, Salzhemmendorf. 90-96.

GÖTZE, J. (2011): Achat – Faszination zwischen Mythos und Wissenschaft. 19-133. In ZENZ, J.: Achate III. Bode Verlag, Salzhemmendorf. 696 S.

GÖTZE, J., MÖCKEL, R. & PAN, Y. (2020): Mineralogy, geochemistry and genesis of agate – A review. Minerals 10(11). 1037.

MAMOU, G., MOHAN, G.B.M., ROUVINSKI, A., ROSENBERG, A. & BEN-YEHUDA, S. (2016): Early developmental program shapes colony morphology in bacteria. Cell Reports, 14(8). Im Internet verfügbar. 1850-1857.

MAYER, D. (2013): Erlesene Achate. Bode-Verlag, Salzhemmendorf. 424 S.

MAYER, D. (2017): Mehr erlesene Achate. Bode-Verlag, Salzhemmendorf. 424 S.

MC MAHAN, P. (2009): Einschlüsse in Achat. 516-644. In ZENZ, J.: Achate II. Bode Verlag, Haltern am See. 696 S.

NATKANIEC-NOWAK, L., DUMANSKA-SLOWIK, M., PRSEK, J., LANKOSZ, M., WROBEL, P., GAWEL, A., KOWALCZYK, J. & KOCEMBA, J. (2016): Agates from Kerrouchen (the atlas mountains, Morocco): Textural types and their gemmological characteristic. Minerals 6(3). Im Internet verfügbar. 77.

SCHMITT-RIEGRAF, C. & RIEGRAF, W. (2015): Vulkanite, Mandelsteinbildungen und Mikrofossilien im Steinbruch Juchem (Unter-Perm, Rheinland-Pfalz). In LORENZ, J. & MÜSSIG, K. (Ed.): Juchem – Achate, Drusen, Sammler. Mitt. Naturwiss. Mus. Aschaffenburg, Bd. 27, 64-161.

THEWALT, U. & DÖRFNER, G. (2012): Wie kommt das Moos in den Moosachat – und wie nicht? Beiträge zu einer alten Frage. Der Aufschluss 63, VFMG, Heidelberg. 1–16.

ZENZ, J. (2009): Achate II. Bode-Verlag, Haltern am See. 696 S.