

Der vorliegende Beitrag soll u.a. zeigen, daß gerade im Bereich der sedimentologischen Forschung die Grenzen zwischen Geologie, Mineralogie, Paläontologie und Biologie fließend sind. Ja sogar im Hinblick auf den Umweltschutz ergeben sich auf Grund derartiger Untersuchungen interessante Aspekte. Vielleicht läßt sich aus der Wechselwirkung zwischen rezenten Bakterien und fossilen Bitumina eine Möglichkeit der Altöl-Verwertung erarbeiten.

Helmut Keupp

Strukturveränderung im eozänen Fischschiefer von Monte Bolca (Oberitalien) durch rezente, endolithische Organismen

Zusammenfassung

Die Besiedlung der bituminösen Fischschiefer von Mte. Bolca (Eozän, Oberitalien) durch rezente, endolithisch lebende, nicht näher bestimmte Actinomyceten, deren Stoffwechselhaushalt auf den Abbau von Kohlenwasserstoffen zurückgeführt wird, wird für eine sekundäre Mikritisierung des Karbonats verantwortlich gemacht.

Unterschiedliche Mikrite

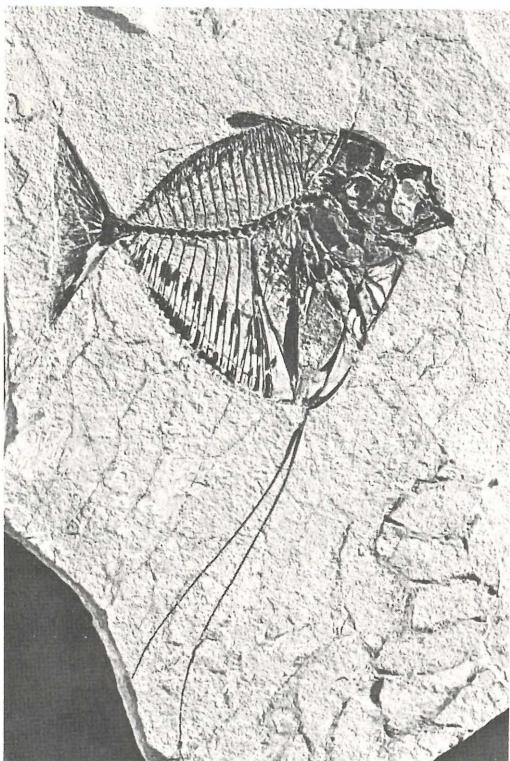
Feinkörnige Kalke, deren Korngröße überwiegend unter 4 Mikron liegt, werden unter dem Begriff Mikrite (= mikrokristalline Kalke) zusammengefaßt (FOLK, 1959, 1962). Ihre Entstehung verdanken sie sehr unterschiedlichen Bedingungen:

1. Im Bereich der offenen See entstehen durch die Anhäufung winziger Platten kalkschaliger Algen (z.B. Coccolithen) die Nannogorite.
2. Die feinsten Zerreibsel von Kalkschalen und anderen Karbonatkörnern, wie sie durch Wasserbewegung oder durch biologischen Abbau (z.B. Korallenfische) zustande kommen, lagern sich im Schelfbereich bei weitgehend fehlender Wasserenergie als Orthomikrite ab.
3. Ein großer Teil der Kalkschlammproduktion kommt vor allem in wärmeren Flachmeeren den bentonischen Algen, Pilzen und Bakterien zu, die teils durch Veränderung des Lösungsgleichgewichts infolge ihres Stoffwechselhaushalts den Kalk aus dem Wasser fällen, teils echte Skelette bauen, die nach dem Absterben der Organismen zerfallen.

Abstract

The settlement of recent, endolithic, not exactly determinated Actinomycetes within the bituminous, laminated limestones of Mte. Bolca (Eocene, Italy) is responsible for a secondary micritization of the sediment. Their assimilation is reduced by the degradation of hydrocarbons.

4. Neben der Neubildung von Karbonat durch aktive oder passive Anlagerung in Lagen oder um Komponenten (z.B. Stromatolithen bzw. Onkoide) sind niedere Organismen (Algen, Pilze, Schwämme u.a.) durch ihre bohrende Tätigkeit für eine sekundäre Mikritisierung von ursprünglich größeren Kalkkomponenten verantwortlich.
5. Im limnischen und terrestrischen Bereich geht die Bildung von Seekreide und Sinter-tuff im wesentlichen auf die Wechselwirkung zwischen Umweltfaktoren und die Assimilation von Algen und höheren Pflanzen zurück.
6. Überwiegend anorganischer Natur scheinen auf dem Festland dagegen mikritische Karbonatabscheidungen in Höhlen bzw. im Boden (Caliche!) zu sein.
7. Schließlich muß im Hinblick auf fossile Kalke auch noch die Möglichkeit der diagenetischen Mikritisierung durch Kornverkleinerung erwähnt werden. Der häufigere Fall ist jedoch, daß im Zuge der Diagenese durch Lösungs-, Zementations- und Sammeltrocklissationsvorgänge eine Vergröberung ursprünglich feinkörnigerer Kalke erfolgt, die den genetischen Charakter des Gesteins z.T. verwischt.



Mene rhombea (13 cm) – Fossiler Fisch aus dem Eozän (50 Mill. Jahre) – Mte. Bolca – Käufliches Foto

Im Folgenden soll nun ein Beispiel vorgeführt werden, wie durch den rezenten Befall mit primitiven, endolithisch lebenden Organismen bestehende Kalke in ihrer Struktur verändert werden können.

Die Fischschiefer von Mte. Bolca

Nordöstlich von Verona/Oberitalien liegt nahe der kleinen Ortschaft Bolca eine der bedeutendsten alttertiären Fossilfundstellen. In mehreren Aufschlüssen rings um den Ort finden sich Medusen, „Würmer“, Krebse, Insekten und Mollusken. Das Hauptkontingent bilden die mit mehr als 150 Arten vorkommenden Fische, die den häufigen Schichten die Bezeichnung „Pesciara“ einbrachten. Auch höhere Vertebraten (Reptilien, Vögel) werden gelegentlich gefunden. Besonders eindrucksvolle Bolca-Sammlungen können

im Naturhistorischen Museum Verona und dem kleinen Museo dei Fossili in Bolca besichtigt werden. Soweit der Ablagerungsraum von Bolca heute noch rekonstruierbar ist, lagen im Eozän einzelne durch Riffe bzw. vulkanische Schwellen abgeschlossene, lagunenartige Meeresbucht vor, in denen Stillwasserbedingungen eine Stagnation des Bodenwassers begünstigten. Infolge der Sauerstoffarmut sind die Organismenreste wegen des weitgehend verhinderten organischen Abbaus entsprechend gut erhalten. Der starke Gehalt an Bitumina belegt ebenfalls das reduzierende Milieu. Die relativ starke Anhäufung von Fossilien innerhalb derselben Schichtflächen hat schon früh die Paläontologen veranlaßt, katastropheneartige Massensterben zu postulieren. Ein unmittelbarer Zusammenhang der episodischen Katastrophen mit der vulkanischen Aktivität des Gebietes ist jedoch nicht wahrscheinlich (SORBINI, 1972). Vielmehr sollte man an toxische Perioden denken, die ihre Ursachen in einer Eutrophierung der abgeschlossenen Lagunen, dem Einfluß H_2S -reicher Bodenwässer auch im oberen Bereich der Wassersäule, dem Überschreiten kritischer Salinitätstoleranzen oder ähnlichem gehabt haben könnten.

Im Profil belegt der mehrfache vertikale Wechsel zwischen annähernd benthosfreien, fossilreichen, bituminösen Fischschiefern und Flachwasserkalken, die reich an bentonischen Großforaminiferen (Alveolinen) und Mollusken sind, alternierende Phasen offen-marinen Einflusses mit eingeschränkten Verhältnissen.

Lithologie der Fischschiefer

Die grauen bis braunen, stark bituminösen mergeligen Fischschiefer sind durch ihre feine, regelmäßige Lamination (0,1-0,2 mm) gekennzeichnet. Die karbonatische Matrix ist mikritisch, wobei eine Korngrößen-Häufung im Bereich zwischen 2 und 6 Mikron, eine weitere im Bereich zwischen 0,2 und 1 Mikron auffällt. Betrachtet man die Kornform, so erkennt man, daß die größeren Mikrite meist euhedral sind, d.h. gut ausgebildete Kristall-

flächen zeigen. Sie spiegeln das Ausmaß des diagenetischen Neomorphismus wieder. Ein geringerer Anteil dieser Matrixkristallite läßt sich auf Coccoolithen zurückführen (MEDIZZA, 1975). Die Minimikrit-Anteile sind dagegen durch unregelmäßige, gerundete Kornaggregate charakterisiert. Sie scheinen ein primäres, diagenetisch nicht verändertes Karbonat zu repräsentieren. Als Erklärung dieser zwei unterschiedlichen Diagenese-Stadien innerhalb desselben Gesteins bieten sich zwei Deutungsmöglichkeiten an, die später zu diskutieren sind:

1. Der Minimikrit ist eine synsedimentäre, biologisch kontrollierte Mg-Kalzit-Bildung, deren diagenetische Kornvergrößerung durch Lösungsbedingungen im Porenwasser (z.B. Mg-Na-Verhältnis) gehemmt war (vergl. FOLK, 1974), während die euhedralen Matrixkristalle aus einer Aragonit-Kalzit-Transformation resultieren.
2. Der Minimikrit ist das Resultat einer jungen, sekundären Karbonatproduktion.

Bereits im Dünnschliff zeigt sich, daß die mikritische Matrix zahlreiche größere Komponenten enthält, die dem Kalk eine rauhe Bruchfläche verleihen (vergl. SORBINI, 1967). Es handelt sich dabei größtenteils um Bi detritus, z.T. auch um große, in Hohlräumen gewachsene Zementkristalle.

Die Porenraum-Besiedlung

Untersuchungen des Sediments mit einem Raster-Elektronenmikroskop (= REM), zunächst ausgehend von Materialproben verschiedener Sammlungen (Jura-Museum, Eichstätt; Institut f. Paläontologie, Erlangen; Privatsammlung D. Weise, Nürnberg), zeigten ausnahmslos einen starken Befall durch winzige, filamentöse Organismen. Die Proben stammten von verschiedenen Lokalitäten des Fischschiefer rund um Monte Bolca. Um den ursprünglichen Verdacht, es handle sich um einen typischen „Museumswurm“, also einen Befall der Proben durch diese Organismen erst innerhalb der Sammlungsschränke, zu überprüfen, fuhr ich selbst nach Mte. Bolca, um frisches Material aufzusammeln. Der Abbau der Fischschiefer – ausschließlich auf

Fossilien – erfolgt heute weitgehend im Stollen. So war es möglich, Proben nicht nur vom oberflächlich anstehenden ausgetrockneten und dem Licht ausgesetzten Material zu gewinnen, sondern auch stark durchfeuchtetes, bis zu mehreren Metern unter Tage liegendes Material, das sich abgesehen von kurzzeitiger, spärlicher elektrischer Beleuchtung während der Grabungszeiten in Dunkelheit befindet. Die Untersuchung hat ergeben, daß auch diese Proben von denselben Organismen befallen sind, wobei ein deutlicher Quantitäts schwund bei den oberflächennahen, den Atmosphärilien ausgesetzten Proben vorliegt. Aus diesem Befund resultiert, daß die beobachteten Organismen dem Gestein immanent sind. Häufig lassen sich durch die Hyphen angebohrte Zementkristallite und Coccoolithen erkennen. Die sich nun auf drängenden Fragen sind:

1. Sind die Organismen fossil oder eine mehr oder weniger rezente Verunreinigung?
2. Welcher systematischen Gruppe sind sie zuzuordnen? Wie erfolgt die Besiedlung und wovon leb(t)en sie?
3. Haben diese Organismen eine Auswirkung auf die Struktur des Gesteins?

Fossil oder rezent?

Die Untersuchung der Hyphen mit einem dem REM angeschlossenen röntgenenergie dispersiven System (ORTEC) hat erbracht, daß diese in organischer Substanz vorliegen. Dem entspricht auch ihre Resistenz gegen Salzsäure. Obwohl die fossile Überlieferung organischer Algenfilamente bereits mehrfach beschrieben ist, muß im vorliegenden Fall der fossile Charakter ausgeschlossen werden, da

1. keine Metallanreicherungen (bes. Fe) im Bereich der organischen Substanz erkennbar sind.
2. eine deutliche Quantitätsabnahme vom Untertage- zum Übergematerial vorliegt.
3. auch spätdiagenetisch gebildete euhedrale Kalzit-Zementkristalle von den Hyphen angebohrt sind. Aus dieser Tatsache läßt sich zumindest ablesen, daß der Organismenbefall ein von der Sedimentation des Gesteins



Abb. 1: Schichtfläche im Fischschiefer mit dichter Actinomyceten-Matte. REM-Foto 7271, Vergr. 4800 X.

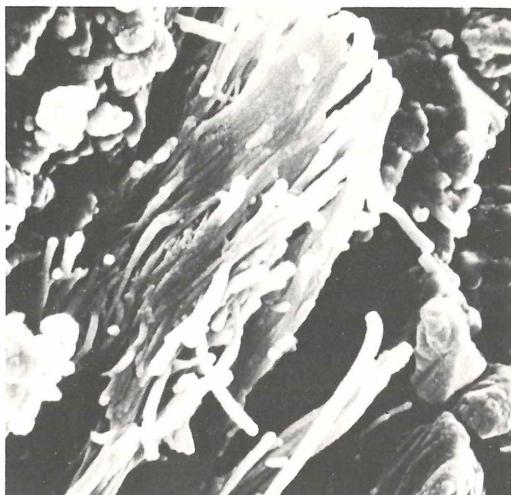


Abb. 2: Durch enge laterale Anlagerung der Hyphen entstehen auf den Schichtflächen dichte Matten. REM-Foto 7267, Vergr. 9600 X.

unabhängiger Vorgang ist. Die gleiche Aussage läßt die Beobachtung zu, daß die Hyphen von den Schichtflächen ausgehend (dort höchste Dichte!) nach unten und oben das Gestein durchdringen.

Wir müssen also davon ausgehen, daß die vorliegenden Organismen mehr oder weniger rezent sind, auch wenn es mir bisher nicht gelungen ist, sie im Labor auf Kultur zu bringen. Dieser Umstand erschwert die systematische Zuordnung der endolithisch heterotroph lebenden Individuen.

Die systematische Stellung

Unter den bekannten Organismensgruppen, die zu einer derartigen Lebensweise befähigt sind, bieten sich zwei Stämme an:

- Pilze (Fungi)
- Prokarionten (= Schizophyten und Bakterien)

Um eine Einengung der vielen Möglichkeiten innerhalb dieser beiden Gruppen zu ermöglichen, erscheint es notwendig, eine kurze Beschreibung der beobachteten Organismen voranzustellen.

Die Hyphen, deren Oberfläche glatt und unsegmentiert ist, sind recht konstant zwischen 0,3 und 0,5 Mikron dick. Die für die REM-Untersuchung notwendige Evakuie-

run der Proben schließt eine geringfügige Schrumpfung der Hyphen nicht aus, auch wenn äußerlich keine Schrumpfungsscheinungen erkennbar sind. Die bis 15 Mikron langen Hyphen erscheinen als einfache Schläuche bzw. mehrfach verzweigte Mycelien. Sie stehen meist als Einzelindividuen in Büscheln. Seltener bilden sie netzartige Geflechte. Die einzelnen Kolonien scheinen aus annähernd runden bis kurzstabförmigen Elementen hervorzugehen (Abb. 3 u. 4), deren Durchmesser etwa gleich den „adulten“ Hyphen ist. Offensichtlich werden die Reproduktionskörper innerhalb von Hyphenfragmenten produziert. Entsprechend dieser Vermehrungsart finden sich auch keine Differenzierungen in somatische Mycelien und Sporeenträger. Im Bereich der Schichtflächen fällt eine starke Häufung der Hyphen auf, wobei die einzelnen Elemente durch enge laterale Anlagerung z.T. mehr oder weniger geschlossene Matten bilden. (Abb. 1 u. 2). Das Vordringen des Mycels in den Porenraum des Gesteins erfolgt offensichtlich von den deutlichen Trennflächen aus in das Liegende und Hangende. Da das Mycel auf den endolithischen Lebensbereich beschränkt zu sein scheint, konnten auch keine formabweichenden Luftmycelien gefunden werden.

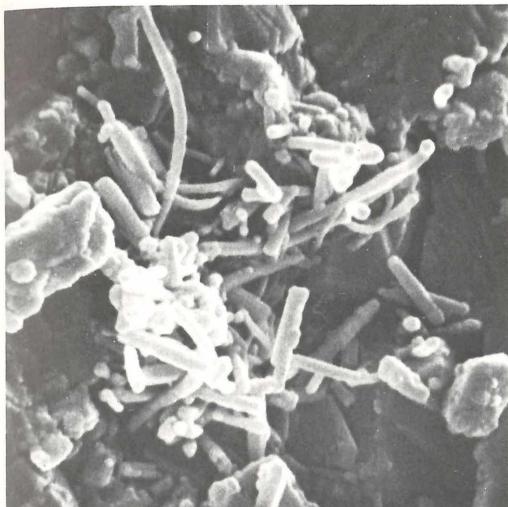


Abb. 3: Hyphenfragmente stellen die Reproduktionskörper der Actinomyceten. REM-Foto 6247, Vergr. 8350 X.

Das Fehlen echter Sporenkörper, die geringe Dimension und das überwiegende Auftreten weitgehend isolierter, wenig verzweigter oder gar verfilzter Mycelien lässt für eine systematische Zuordnung weniger an Pilze als vielmehr an Vertreter der Prokaryonten-Ordnung Actinomycetales denken. Wenn auch eine sichere taxonomische Ansprache erst nach erfolgreicher Kulturhaltung im Labor möglich sein wird, sprechen doch Dimension, Beschränkung auf ein Substratmycel, die Art der Vermehrung über Chlamydosporen und die spezifische Wuchsform (Formgruppe I nach BUCHANAN & GIBBONS, 1974) für eine enge Beziehung unserer Hyphen zu *Nocardia*. Diese Actinomyceten-Gattung lebt bevorzugt in Böden, einzelne Arten sind auch aus karbonatischem Substrat bekannt (z.B. *Nocardia calcarea* METCLAF & BROWN, 1957). Die Frage nach dem Ausgangsstoff für die Ernährung der Actinomyceten kann nur indirekt beantwortet werden. Wie schon oben erwähnt, sind die bituminösen Fischschiefer von Bolca fossilreichen Flachwasserkarbonaten mit Alveolinen und Mollusken zwischen geschaltet. Die Überprüfung des ebenfalls relativ großen Porenraumes der bitumenfreien Alveolinenkalke im unmittelbaren Lie-

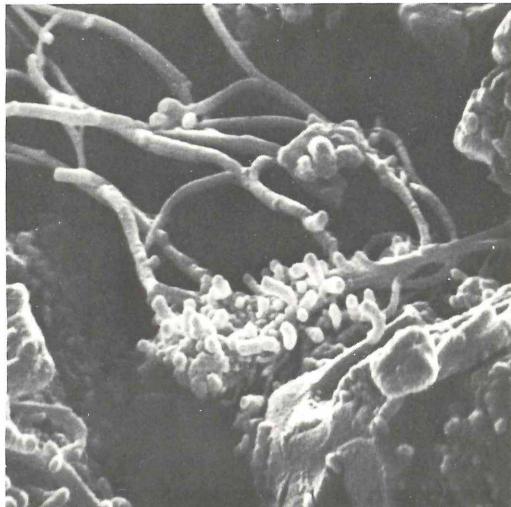


Abb. 4: Durch die Vermehrung über Chlamydosporen haben „juvenile“ und „adulte“ Hyphen gleiche Durchmesser. Porenraum im Fischschiefer von Bolca. REM-Foto 6199, Vergr. 7600 X.

gendkontakt der Fischschiefer ergab jedoch einen negativen Bakterienbefund. Der starke Befall scheint somit auf die bituminösen Kalke beschränkt zu sein. Diese Annahme wird bestärkt durch das Vorkommen, wenn auch bei weitem nicht in ähnlicher Menge, vergleichbarer Hyphen in bitumenhaltigen Mergeln des Weißjura in der Südlichen Frankenalb. (Abb. 16).

Aus den Beobachtungen lässt sich ableiten, daß zumindest ein Teil der Nährstoffe unserer Actinomyceten Bitumina sind, zumal bei der tiefen Untertage-Lage (mind. 10 m) in Bolca andere organisch verwertbare Stoffe in größerer Menge kaum zu erwarten sind. Sollte es also gelingen, die Bakterien in Kultur zu bringen, ergäbe sich hier vielleicht die Möglichkeit eines biologischen Altöl-Recyclings. An zahlreichen, meist marin lebenden Bakterien von sehr unterschiedlicher systematischer Zuordnung wird seit längerem experimentiert, die Fähigkeit Kohlenwasserstoffe abzubauen in nützliche Bahnen zu lenken. In diesem Zusammenhang konnten z.B. AUSTIN et al. (1977) auch einige geflechtabildende Actinomyceten und *Nocardia*-Formen im Labor auf Ölsubstrat kultivieren.

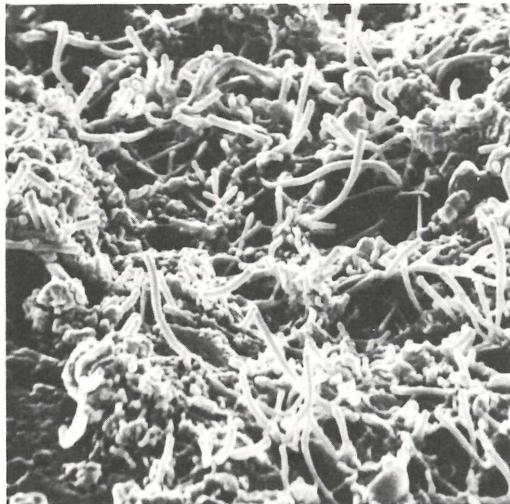


Abb. 5: Intensiver Actinomyceten-Befall im Fischschiefer von Bolca. REM-Foto 6189, Vergr. 4000 X.

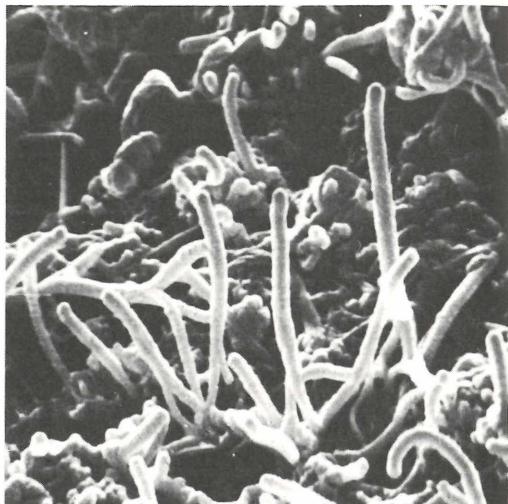


Abb. 6: Ausschnitt aus Abb. 5. REM-Foto 6190, Vergr. 8000 X.

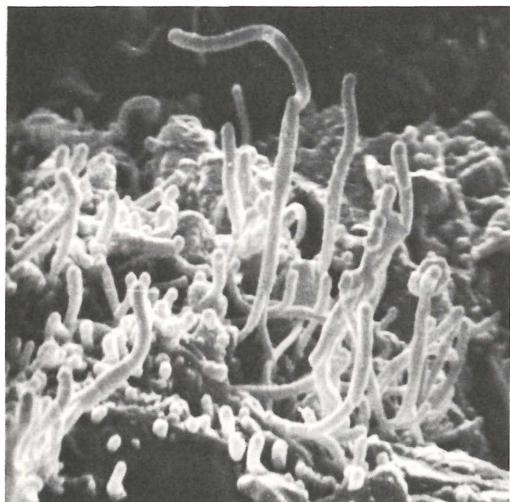


Abb. 7: Im Porenraum der Fischschiefer gewachsene Mycel von Actinomyceten. REM-Foto 6195, Vergr. 8000 X.

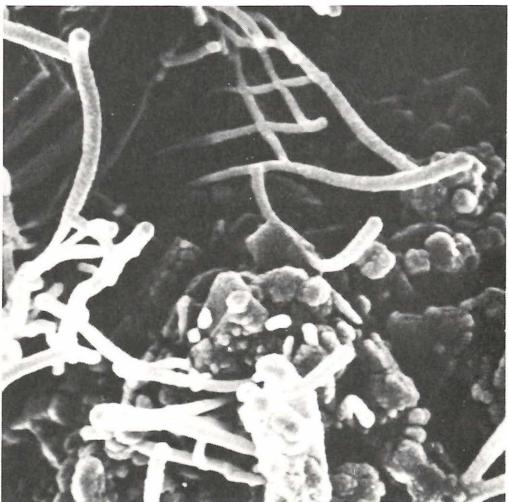


Abb. 8: Der einfache Verzweigungsmodus der Hyphen spricht u.a. für eine Zuordnung zu Nocardia. REM-Foto 7273, Vergr. 9500 X.

Die Actinomyceten verändern das ursprüngliche Sedimentgefüge

Für den Karbonatsedimentologen ist das Phänomen des Bakterienbefalls der bituminösen Kalke von besonderem Interesse, da die Bioaktivität im Porenraum zu einer Veränderung der ursprünglichen Struktur führt. Infolge des Stoffwechselhaushaltes der

Actinomyceten sinkt der pH-Wert am unmittelbaren Kontakt mit den Karbonatpartikeln, sodaß deren Anätzung ermöglicht wird. Dieser Prozeß geht offensichtlich so weit, daß die Hyphen durch die Kalzitkörper, diagenetisch gewachsene Zementkristallite in Hohlräumen

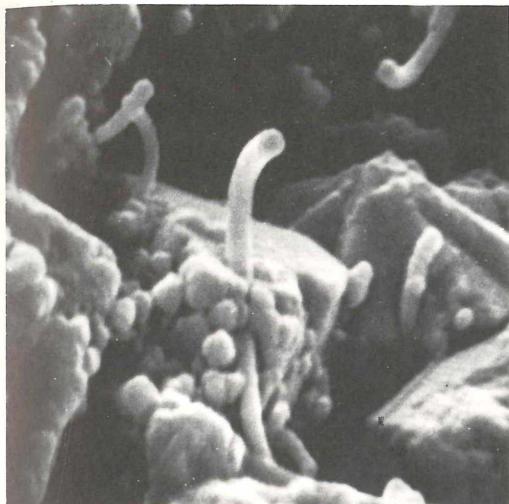


Abb. 9: Von Actinomyceten-Hyphen durchbohrte Sedimentpartikel (euheptedraler Matrixkristall bzw. im Hintergrund ein zu den Coccolithophoriden gerechneter Discoaster). REM-Foto 6265, Vergr. 17000 X.

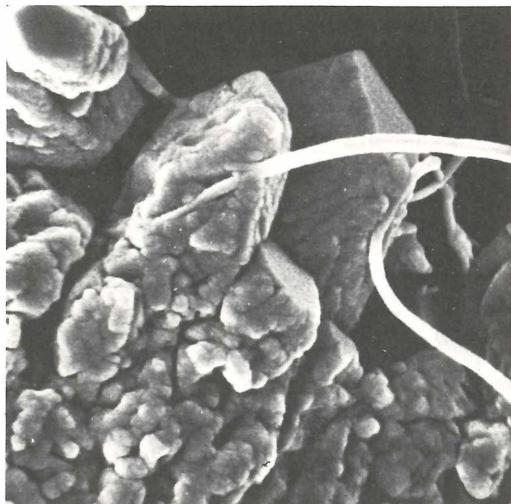


Abb. 10: Angebohrte Sedimentpartikel im Fischschiefer von Mte. Bolca. REM-Foto 6238, Vergr. 8800 X.

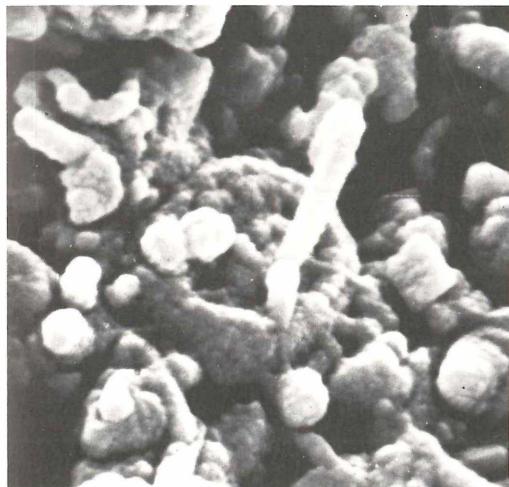


Abb. 11: Von Actinomyceten durchbohrter Marginalkranz eines Coccolithen, Fischschiefer von Bolca. REM-Foto 7019, Vergr. 18500 X.



Abb. 12: Einzeln stehende Hyphen im Sediment von Bolca mit Coccolithen (*Cruciplacolithus sp.*). REM-Foto 6313, Vergr. 10300 X.

ebenso, wie Fossilreste (Abb. 9-11), hindurchbohren. Das dabei in Lösung gehende Karbonat fällt, soweit es nicht durch Sickerwässer abgeführt wird, bei zunehmender Alkalität durch Entfernung von der unmittelbaren Hyphennähe erneut im Porenraum aus. Für das Gefüge der Fischschiefer resultiert eine zweifache Kornverkleinerung:

1. Die Bohrtätigkeit zerlegt größere Kristallite.
2. Das biologisch kontrollierte Umsetzen des Karbonats führt zur Bildung von kalzitischem Minimikrit im Porenraum mit Korngrößen zwischen 0,2 und 1 Mikron.

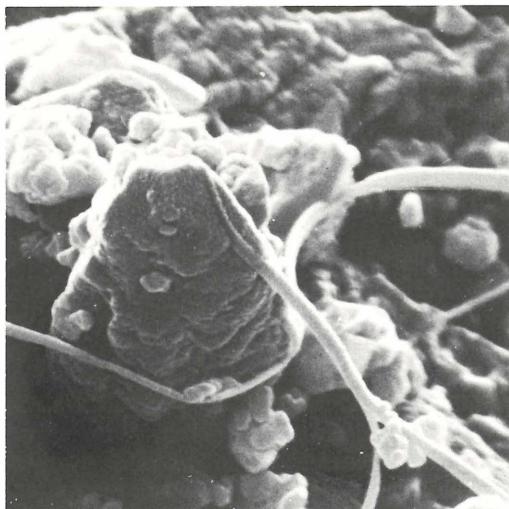


Abb. 13: Im Bereich der Actinomyceten-Hyphen scheidet sich ein Minimikrit (gerundete Körner an der Gabelungsstelle!) ab. REM-Foto 6301, Vergr. 8600 X.

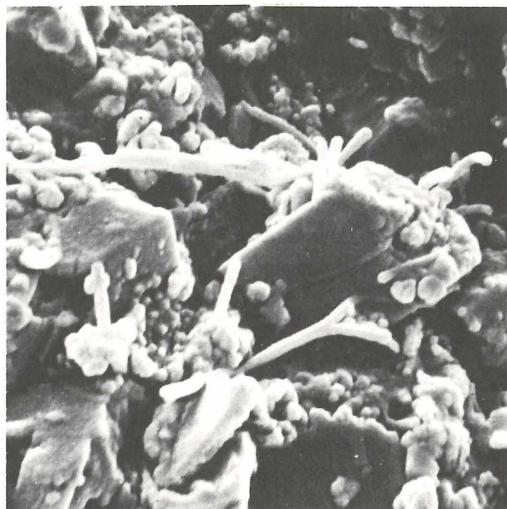


Abb. 14: Die unterschiedliche Korngröße und -form zwischen den neomorphen Matrixkristallen und dem gerundeten Minimikrit lassen zwei voneinander unabhängige Karbonatbildungsphasen erkennen. REM-Foto 6268, Vergr. 8200 X.

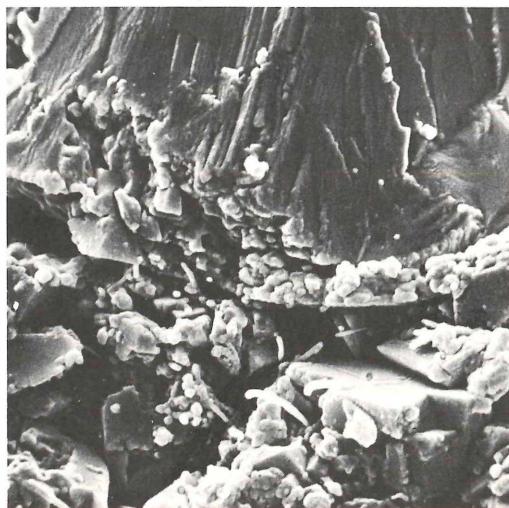


Abb. 15: Rezenter Minimikrit zwischen Detritus- und Zementkörnern in Verbindung mit einzeln stehenden Actinomyceten von Mte. Bolca. REM-Foto 6306, Vergr. 4800 X.

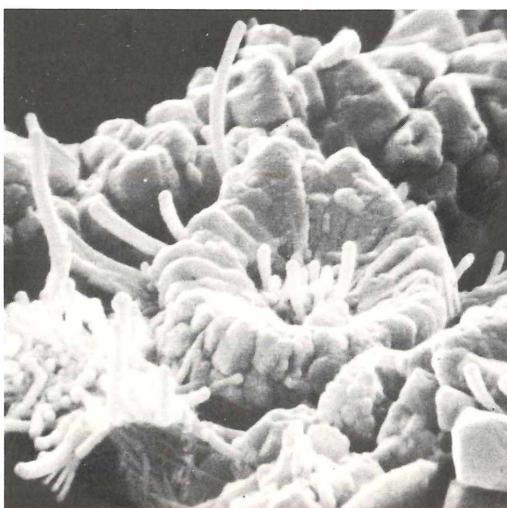


Abb. 16: Vergleichbare Actinomyceten-Hyphen im Untertithon-Mergel von Langenaltheim (Coccolith: *Cyclagelosphaera*). REM-Foto 2-371, Vergr. 8500 X.

Die so erfolgte biogen-terrestrische Mikritisierung kann als Erklärung für die auf-fallenden Strukturunterschiede innerhalb des Sediments herangezogen werden. Während die mehr oder weniger deutlich euhedralen Kristallite im wesentlichen das ursprüngliche, überwiegend feindetritische Sediment repräsentieren, das den üblichen Diagenese-Weg mit Zementation, Neomorphismus und Sammelkristallisation durchlaufen hat, müssen die gerundeten Minimikritkörner als eine von der Sedimentation und dem Lithifikationsprozeß des Gesteins unabhängige Neubildung angesehen werden. Als Kontrolle dieser Annahme kann das deutlich gehäufte Auftreten des Minimikrits in Bereichen starken Actinomyceten-Befalls gelten.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprogramms „Submikroskopische Untersuchungen an biogenen und abioigenen Karbonaten (Projekt-Nr. FI 42/29) im Institut für Paläontologie der Universität Erlangen. Besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr. S. Golubic, Boston für seine ausführlichen Stellungnahmen und wertvollen Hinweise. Herrn Dr. G. Viohl, Eichstätt und Herrn D. Weise, Nürnberg bin ich für die Überlassung von Probenmaterial dankbar. Herr Dr. L. Sorbini, Verona ermöglichte mir den Zugang zum Untertageabbau der Fischschiefer von Mte. Bolca. Herrn Dr. Burkhard, Erlangen danke ich für Hinweise auf mikrobiologische Literatur. Der Naturhistorischen Gesellschaft bin ich für die Veröffentlichung mit der reichen Bildausstattung zu Dank verpflichtet.

Literatur

AUSTIN, B.; CALOMIRIS, J.J.; WALKER, J.D. & COLWELL, R.R. (1977): Numerical Taxonomy and Ecology of Petroleum-Degrading Bacteria. – *Applied and Environmental Microbiology*, **34**, 1, 60-68

BUCHANAN, R.E. & GIBBONS, N.E. (1974): *Berger's manual of determinative bacteriology*. – (8. Aufl.), 1268 S., Baltimore (Williams & Wilkins Co.)

FOLK, R.L. (1959): Practical petrographic classification of limestones. – *Amer.Ass.Petrol.Geol.Bull.*, **43**, 1, 1-38, Tulsa

_____ (1962): Spectral subdivision of limestone types. – *Am. Ass.Petrol.Geol.Mem.*, **1**, 62-84, Tulsa

_____ (1974): The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of agnesium content and salinity. – *J.Sed.Petrol.*, **44**, 1, 40-53, Tulsa

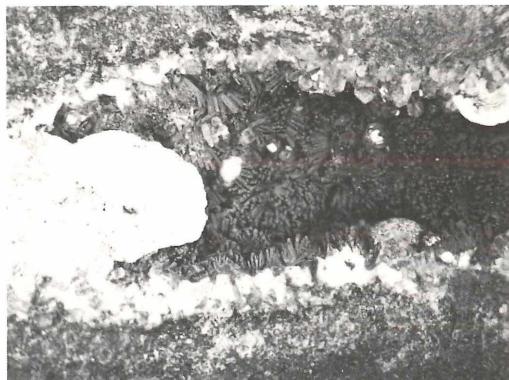
MEDIZZA, F. (1975): Il Nannoplancton calcareo della Pesciara di Bolca (Monti Lessini). – *Stud.ric.giacim.terz.Bolca*, **2**, 433-453, Verona

SORBINI, L. (1968): Contributo alla sedimentologia della „Pesciara“ di Bolca. – *Mem.Mus.Civ.Storia Naturale*, **15**, 213-221, Verona

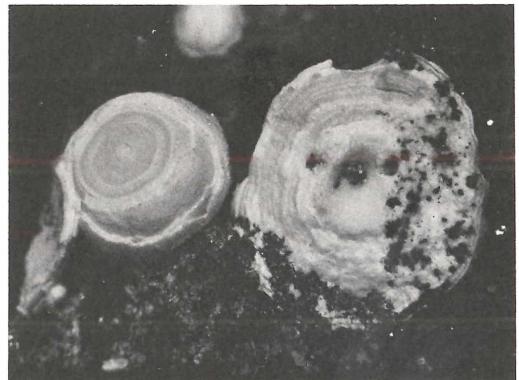
_____ (1972): Die tropischen Fische aus dem Eozän des Monte Bolca (Provinz Verona). – *AQUATERRA*, **9**, 11, 110-116, Biberist (CH)

Anschrift des Verfassers:

Dr. Helmut Keupp
Institut für Paläontologie
Universität Erlangen-Nürnberg
Loewenichstraße 28
D-8520 Erlangen



Natrolith, Phillipsit aus den Basalten des Großen Zeichelberg. – Foto: Joens



Natrolith aus den Basalten der Zinster Kuppe. Foto: Joens

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Mensch - Jahresmitteilungen der naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V.](#)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: [1977](#)

Autor(en)/Author(s): Keupp Helmut

Artikel/Article: [Strukturveränderung im eozänen Fischschiefer von Monte Bolca \(Oberitalien\) 33-41](#)