

SPÄTSEDIMENTÄRE BIS FRÜHDIAGENETISCHE VERÄNDERUNGEN AN MIKROSKLEREN CRICCOMORPHER DEMOSPONGIEN AUS DEM OBERJURA

Helfried MOSTLER und Zoltan BALOGH

Mit 3 Abbildungen und 2 Fototafeln

Zusammenfassung:

Mikrosklere criccomorpher Demospongien (MOSTLER & BALOGH, 1994) sind sowohl in der oberjurassischen Beckenfazies der Nördlichen Kalkalpen als auch in den malmischen Schwammriffen der Schwäbischen und Fränkischen Alb sehr häufig. Zwei Typen solcher Mikrosklere, es handelt sich um Mikrocriccorhabde, haben durch Lösungskorrosion so starke Veränderungen erfahren, daß man in diesen Skleren sogar eine neue Form von Sklerenarchitektur vermutete. Es konnten alle Stadien der spätsedimentären bis frühdiagenetischen Umwandlung studiert und gleichzeitig erstmals der Internbau dieser Skleren erkannt werden. Die vielen kleinen Pusteln bis sehr kleinen Dornen an der Sklerenoberfläche stehen mit den verzweigten Kanälen des achsialen Kanals, der das organische Filament umhüllte, in Verbindung. Jeder der selbst kleinsten Dornen bildet den Abschluß eines Zweigkanals, wodurch nachgewiesen werden kann, daß die Ringstrukturbildung der criccalen Mikrosklere direkt über das verzweigte achsiale Filament gesteuert wird und nicht durch die Silicalemma.

Abstract:

Microscleres of criccalic Demospongiae are very common in the Late Jurassic basin facies of the Northern Limestone Alps as well as in the Malmian sponge reefs of the Swabian and Frankian Alb (Germany). Two types of these microscleres, which belong to the Microcriccorhabds, have been altered so strongly by diagenetic solution processes that in these scleres a new type of sclere architecture has been presumed.

All stages of sedimentary to early diagenetic alteration could be studied and for the first time the internal architecture of these scleres has been recognized.

The many small pustules to very small spines on the surface of the scleres are in connexion with the branching channels of the axial channel, which envelopes the organic filament.

Each of the spines, even the smallest, forms the end of the branching channels, indicating that the formation of the ring structure of the criccalic microscleres was directly controlled by the branching axial filament and not by the Silicalemma.

1. Einleitung

Im Zuge der Bearbeitung oberjurassischer Kieselschwammfaunen wurden immer wieder Veränderungen an Sklerenoberflächen festgestellt. Die Art der Veränderung ist vielgestaltig und, wie Detailstudien der beiden Autoren ergeben haben, oft auf mehrphasige Entstehung zurückzuführen, wobei alle Stadien der Diagenese durchlaufen wurden. Es konnten jedoch auch Hinweise für Korrosionsstrukturen an Skleren gefunden werden, die noch vor Anlauf der Frühdiagenese (sedimentär) angelegt wur-

den. Sehr wichtig in diesem Zusammenhang ist die Studie von RÜTZLER & MACINTYRE (1978), die erstmals systematisch die postsedimentäre Veränderung der Schwammspicula in Sedimenten eines rezenten Korallenriffes untersucht haben und die dabei entdeckten Lösungsstrukturen durch Ätzung mit Flußsäure überprüft haben. MARTINI & RIETSCHEL (1978) stellten an Schwammnadeln, aus den tertiären Ölschiefen von Messel stammend, ebenfalls Lösungerscheinungen fest, die eine analoge Ausbildung zeigen wie jene, die von RÜTZLER & MACINTYRE im selben Jahr publiziert wurden.

Die erstgenannten Autoren haben versucht, die Nadeloberflächenveränderungen (Lösungskanäle, Lösungsnarben) auf einen postsedimentären Lösungsprozeß, der auf der Sedimentoberfläche und bei nur geringer Sedimentüberdeckung abgelaufen sein müßte, zurückzuführen. Beide Studien kommen unabhängig voneinander zu ein und demselben Ergebnis. Auf diese Arbeiten wird noch in Kapitel 5 zurückgekommen.

Anlaß unserer Untersuchungen waren Mikroskleren, die durch breite Ringe und narbige Zwischenringelemente auffielen. Zuerst dachten wir an neue Formen von Mikroskleren (vgl. hierzu Taf. 2, Fig. 10–13). Bei eingehender Bearbeitung des reichen Sklerenmaterials aus den Oberalmer Schichten (Alpiner Jura) und aus den Schichten von Nattheim (Germanischer Jura) stellte es sich heraus, daß es sich nur um selektiv frühdiagenetisch veränderte Kieselnadeln handelt, deren ursprüngliche Ringe, bedingt durch die Lösungskorrosion abgetragen wurden und nun in Form schmaler „Zwischenringelemente“, ausgelöst durch den tiefen Abtrag der Zweigkanäle des achsialen Filamentes, weitaus schmaler sind. Umgekehrt sind die ehemaligen Zwischenringareale breiter und täuschen eine nicht bedornete Ringstruktur vor, weil sie in ihrer ursprünglichen Form erhalten blieben.

Mit dieser Studie wollen wir aber auch aufzeigen, daß die mit Pusteln und sehr kleinen Dornen übersäten Ringoberflächen den Abschluß von Kanälen darstellen, die ursprünglich mit dem achsialen Filament in Konnex standen. Es handelt sich hierbei um die Zweige des sich aufspaltenden achsialen Filamentes bzw. um deren Kanäle. Somit zeigt sich sehr deutlich, daß die Ringelemente, durchgehend aus solchen Kanälen zusammengesetzt, im Aufbau völlig analog wie die von RÜTZLER & MACINTYRE (1978: Fig. 4.3) durch Ätzung freigelegten Kanälen von Sterrastern entsprechen. Diese Feststellung ist sehr wichtig, weil dadurch die bisherigen Vorstellungen hinsichtlich der Bildung criccaler Mikroskleren revidiert werden müssen.

Wichtig erschien uns noch, darauf hinzuweisen, daß die postsedimentären als auch diagenetischen Lösungserscheinungen an Skleren in allen von uns untersuchten Proben sich ausnahmslos an Strukturen halten, die auf die primären Anlagen der Skleren zurückgehen.

2. Beschreibung der durch Kieselsäurelösung hervorgerufenen Korrosionsmuster

Im folgenden sollen die Anlösungsformen der Spiculaoberflächen, von schwachen Veränderungen während der Ablagerung bis zum frühdiagenetischen Endstadium dargestellt werden. Auf Taf. 2, Fig. 1–2 sind zwei Typen von Mikrocriccorhabden abgebildet, wie sie gewöhnlich im Probenmaterial vorliegen. Sie zeigen jedoch die ersten Ansätze einer Lösungskorrosion. Am Spiculum der Fig. 1 (schmales Mikrocriccorhabd mit drei Ringen und zwei halbkugelig entwickelten Rhabdenden) erkennt man unten deutlich die kleinen Kanäle, die durch Lösungskorrosion der Dornen sichtbar werden. Die Mikrosklere, auf Taf. 1, Fig. 2 abgebildet, stellt ein breites Mikrocriccorhabd mit vier Ringelementen dar, dessen Enden ungleich ausgebildet sind. An diesen sind einzelne größere Löcher an der Oberfläche der Ringe sichtbar, die auf eine punktuelle stärkere Lösung der Dornenspitzen zurückgehen. Die in Fig. 3–5 abgebildeten Skleren zeigen die immer stärker werdende und flächig durchgreifende Lösungskorrosion. In Fig. 6 derselben Tafel sind einige Löcher sichtbar, die größer sind als jene der Dornenkanäle. Es handelt sich hierbei um gleich nach der Sedimentation einsetzende Lösungsstrukturen. Auf Taf. 2, Fig. 2, wurde ein Mikrocriccorhabd mit wesentlich größeren „Ätzfiguren“ dargestellt. Auf Taf. 1, Fig. 7 und 9, sind die Kanäle, die zu den Dornen führen, völlig freigelegt; es ist aber auch die oberste Schicht der Zwischenringareale lösungskorrosiv abgetragen, wodurch man deutlich erkennt, daß die Löcher wirklich nur auf die Kanäle beschränkt sind. Fig. 8 der ersten Tafel zeigt einen granularen Aufbau der Zwischenrin-

gabschnitte, der auf diagenetische Veränderungen, wie später noch zu besprechen sein wird, zurückgeht. Auf Fig. 9 sind zusätzlich zu den postsedimentären Lösungsstrukturen auch noch solche der frühen Diagenese erkennbar. Es handelt sich vor allem um den teilweisen Abbau der Kanäle, besonders gut auf Taf. 1, Fig. 13, sichtbar. Es sei hiebei noch darauf hingewiesen, daß die freigelegten Kanäle vollkommen denen entsprechen, die RÜTZLER & MACINTYRE (1978: 153; Fig. 4.3–4.4) abbilden, nur mit dem Unterschied, daß der Skelettopal bei rezenten Mikroskieren noch erhalten ist, während er bei den oberjurassischen Skieren schon stark umkristallisiert vorliegt.

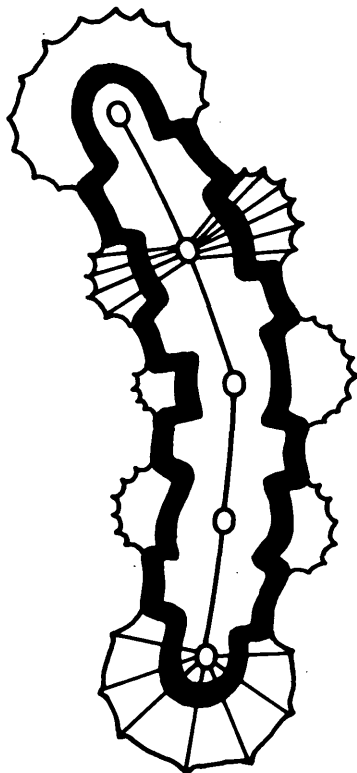


Abb. 1a: Stark umrandet ist die Oberfläche, die nach den verschiedenen Lösungsstadien erhalten blieb. Die mit dünnem Strich gezeichnete Linie gibt die ursprüngliche Morphologie des Microcriccorhabdes wieder. Im Inneren des Rhabds ist die Position des Achsialfilamentes mit den Zentren für die Aufspaltung in Filamentzweige dargestellt.

Auf Fig. 1 der Taf. 2 (Vergrößerung = 1250x) sind die einzelnen Kanäle mit ihren Löchern, die in den Zentralkanal führen, gut erkennbar. Fig. 3 zeigt die einzelnen Kanäle, die auf der durch Er-

weiterung des Zentralkanals diagenetisch gebildeten Schicht aufsitzen. Die drei Spicula auf Taf. 2, Fig. 5–7, zeigen unterschiedliche Stadien der Demontage von Ringelementen, welche in Fig. 10–13 in allen Ringabschnitten, aber auch an den tylot entwickelten Rhabdenden völlig fehlen, wodurch die Zwischenringbereiche Ringe vortäuschen, während die ehemaligen Ringelemente als schmale „Zwischenringe“ in Erscheinung treten (Abb. 1a). Da generell im Zuge der Diagenese der achsiale Kanal sehr stark erweitert wird, haben wir erwartet, einen sehr breiten Kanal vorzufinden, schon allein deswegen, weil von dieser die abspaltenden Kanäle sehr gut durch Lösungskorrosion herauspräpariert wurden. Nun zeigte es sich jedoch (vgl. Fig. 8–9 auf Taf. 2), daß der erweiterte achsiale Kanal bereits wiederum mit zwei Generationen umkristallisierter Kieselsäure verfüllt ist. Die innere Zone wird mit mehr plattigen Kieselsäurekristallen verfüllt, die äußere Zone besteht aus wesentlich feiner granulierter Kieselsäure – es wird sich wohl um Quarzin bis Quarz handeln.

Damit ist belegbar, daß der Bereich der Ringe, bedingt durch die Erweiterung und das Aufspalten des achsialen Filamentes, primär schon etwas ausgebaucht war. Die bienenwabenartig gestaltete Oberfläche (vgl. Taf. 2, Fig. 1, Fig. 4, 6, 7, 10), an der sich der äußere Teil der Dornenkanäle abgelöst hat, ist durch stärkere Lösungserweiterung (diagenetisch bedingt) entstanden (vgl. Abb. 1a). Die chemische Korrosion hat sich an die verzweigte Struktur der Kanäle, mit dem achsialen Filament in Verbindung stehend, gehalten.

3. Bemerkungen zum Internbau der Mikrocriccorhabde

Anhand der spätsedimentären bis frühdia-genetischen Veränderungsmerkmale ist es möglich, Aussagen über den Internbau der criccomorphen Mikroskieren zu treffen. Zunächst überraschte es, daß die vielen kleinen Pusteln

und sehr kleinen Dornen, die ausschließlich auf die Ringe der Mikrocriccorhabde beschränkt sind, das Ende von Kanälen darstellen (Abb. 1b). Generell wurde die Meinung vertreten, daß eine derartig zarte Oberflächenskulpturierung, wie Bepustelung und Feinbedornung, nicht vom achsialen Filament gesteuert werden kann. SIMPSON (1980: 546; Fig. 18–21) konnte an Mikrosklereu rezenter Spongilliden aufzeigen, daß die vielen Dornen dieser im Innern über Zweigkanäle eine Verbindung zum achsialen Filament aufweisen, während die noch kleineren Oberflächenspitzen (sehr kleinen Dornen) keinen Konnex zu dem Filament zeigen. In unserem Falle führt zu jedem Dorn des Ringes ein Zweig des achsialen Filamentes, genauso wie zu den Dornen der tyloten Rhabdenden derselben Mikrosklere. Der diagenetisch stark erweiterte achsiale Kanal hat die ursprüngliche Anlage – Verbreiterung des Filamentes zum Zwecke des Abstrahlens von „Zweigfilamenten“ – nachgezeichnet, wodurch bei gleichmäßigem chemischen Abtrag eine Ausbauchung entstand. Diese Ausbauchung tritt in noch verstärkterem Maße an den beiden tyloten Mikrorhabdenden in Erscheinung (vgl. nochmals Abb. 1a und 1c). Der Internbau in den beiden tyloten Rhabdenden ist sehr ähnlich dem Baumuster von Sterrastern. Jedes Ringelement entspricht einem „Fast“-Sterraster. Der Ringbau der hier vorgestellten

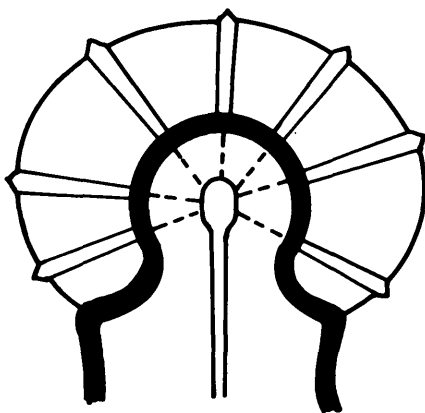


Abb. 1b: Schematische Darstellung der Kanäle, die an der Oberfläche durch Pusteln oder sehr kleine Dornen verschlossen sind. Hiemit soll die ursprüngliche Oberflächengestaltung im Profilschnitt dargelegt werden.

criccomorphen Mikrosklereu wird von dem verzweigten achsialen Filament gesteuert.

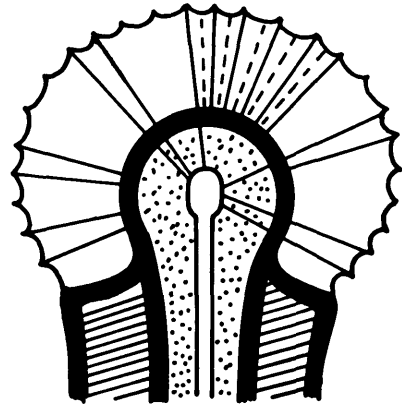


Abb. 1c: Der Achsialkanal ist punktiert dargestellt, und zwar handelt es sich um den durch Korrosion erweiterten Achsialkanal, der zu einem sehr breiten Hohlraum wird, der im spätdiagenetischen Stadium verfüllt wurde. Darüber die korrosiv erweiterten, vom achsialen Filament abzweigenden Kanäle, die durch den korrosiven Abtrag die Pusteln und die kleinen Dörnchen verloren haben, wodurch offene, konisch zulaufende Röhren entstehen. Der schraffierte Bereich stellt die massive, nichtberingte Außenwand dar, die nicht im Zuge der diagenetischen Veränderungen dezimiert, jedoch umkristallisiert wurde.

4. Orientieren sich die Lösungsmuster an der vorgegebenen Wachstumsstruktur der Sklereu?

Ausgehend von den sicher noch vordiagenetisch erzeugten Korrosionsmustern, soll zunächst generell die immer wieder gleiche Art der Strukturen angesprochen werden. So zeigen MARTINI & RIETSCHEL (1978: 95 in Abb. 1 und 2) monaxone Schwammsklereu mit Lösungskanälen, die senkrecht zum Zentralkanal verlaufen. Die diagenetisch hervorgerufenen Korrosionen jedoch halten sich an die Längsachse des achsialen Filamentes mit Erweiterung des sogenannten Achsenkanals. Die von GARONNE et al. (1981: Fig. 17–41) abgebildeten Spicula, in einem Megasklerocyten wachsend, zeigen sehr deutlich eine senkrecht zum achsialen Filament verlaufende Gliederung. Diese Quergliederung ist immer wieder zu erkennen und unseres Erachtens verantwortlich

für die senkrecht zum Achsenkanal verlaufenden Lösungskanäle (vgl. hierzu Abb. 1 und 2 von MARTINI & RIETSCHHEL, 1978). Daraus kann man folgern, daß die spätsedimentären, noch vor der Frühdiagenese ablaufenden Lösungserscheinungen an primär vorgegebenen Schwachstellen der Skleren angelegt wurden. Die Veränderung der Mikrocriccorhabde an den Ringelementen ist durch eine parallel zu dem Dornenkanal verlaufende chemische Lösung verursacht und damit auch einer primär vorgegebenen Struktur folgend. Gleichzeitig mit diesem Prozeß dürfte die erste Erweiterung des Achsenkanals verlaufen sein. Die starke Erweiterung des Achsenkanals fällt aber sicher in ein diagenetisches Stadium, auf das wir später noch einmal zu sprechen kommen. Die Lösungsmuster, wie sie hier besprochen wurden, folgen unzweifelhaft einmal der konzentrisch angelegten Längsstruktur, zum anderen der senkrecht auf diese Struktur vorgegebenen Gliederung in Einzelteile, wie es aus den entstehenden Mikrosklern bei nahezu 40.000-facher Vergrößerung sehr gut ersichtlich wird. Somit ist es sichergestellt, daß die spätsedimentären bis frühdiagenetischen Veränderungen der Mikrosklern ohne Ausnahme den primär vorgegebenen Strukturen folgen.

5. Diskussion zur zeitlichen Einordnung der Sklerenkorrosion

Es ist den ausführlichen Studien von RÜTZLER & MACINTYRE (1978) zu verdanken, die an rezenten Mikrosklern, die im spätsedimentären Stadium noch vor der Diagenese erzeugte chemische Korrosion nachgewiesen haben. Genau dieselben Korrosionsmuster konnten an unserem Material nachgewiesen werden. Es sind dies einmal die vertikal auf die Rhabdachse angelegten Lösungskanäle, die völlig analog sind wie jene, die MARTINI & RIETSCHHEL (1978) beschrieben und abgebildet haben, zum anderen sind es die Korrosionen der Dornenspitzen, wodurch die Zweigkanäle des achsialen Filamentes nicht nur freigelegt, son-

dern auch noch die Kanaldurchmesser erweitert haben. Die hier beschriebenen Erscheinungen sind auf jeden Fall noch dem postsedimentären Ablauf zuzuordnen; ein Teil gehört sogar noch in das Spätstadium der Sedimentation. Vor allem ist die Anlage der Lösungskanäle schon im späten Stadium der Sedimentation, d.h. auf der Sedimentoberfläche oder im Nahbereich der Sedimentationsoberfläche, angelegt. Die weiteren Anätzungen haben sich im Bereich des interstitialen Wassers, in dem Kieselsäure gelöst wird, gebildet.

Schwierig ist es, die weitere Umbildung zeitlich in den Griff zu bekommen. Sicher dem Stadium einer Spätdiagenese zuzuordnen sind die sekundären Auffüllungen des zuvor stark erweiterten Zentralkanals (vgl. Fig. 8–9 auf Taf. 2). Dieser Phase ebenfalls angehören dürften die feinkörnigen Umkristallisate auf der Spiculaoberfläche. Zu welcher Zeit entstanden schließlich die Endprodukte der Korrosion, wie sie auf Taf. 2, Fig. 10–13, abgebildet sind? Diese können erst nach der sehr starken Erweiterung des achsialen Kanals entstanden sein, der in Abb. 1a dargestellt ist, weil erst dadurch jene „Grenzschicht“ entstand, an der sich die einzelnen Zweigkanalfragmente ablösen konnten. Dieses Stadium der Kanalausweitung fand auf jeden Fall im Bereich der Diagenese statt und somit fällt auch die Bildung der erweiterten Grenzschicht im Bereich des verzweigten Kanales bzw. dessen Ränder in diese Phase. Da, wie bereits erwähnt, die sekundäre Auskleidung des stark korrodierten Achsenkanals in einem späteren Stadium der Diagenese stattfand, in derselben Fauna spätdiagenetische Umsetzungen die Regel sind, ist der Verlust eines Großteils der vom achsialen Kanal abzweigenden Kanäle (vgl. Abb. 1c) noch in ein frühdiagenetisches Stadium einzuordnen. Dies deckt sich auch mit unseren Untersuchungen, das Material von Nattheim betreffend (vgl. Fig. 11–13 der Taf. 2), wo man die spätdiagenetischen Ereignisse sehr gut erfassen kann.

Literatur

- GARRONE, R., SIMPSON, T.L. & POTTU-BOUMENDIL, J. (1981): Ultrastructure and Deposition of Silica in Sponges. – In: SIMPSON, T.L. & VOLCANI, B.E. (Eds.): Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems, 495–525, Springer-Verlag.
- MARTINI, E. & RIETSCHER, S. (1978): Lösungerscheinungen an Schwammnadeln im Messeler Ölschiefer (Mittel-Eozän). – Erdöl Erdgas Zeitschr., 94–97.
- MOSTLER, H. & BALOGH, Z. (in Vorbereitung): Criccomorphe Demospongien, eine wichtige mesozoische Schwammgruppe (Bauformen, Entwicklung und stratigraphische Verbreitung).
- RÜTZLER, K. & MACINTYRE, I.G. (1978): Siliceous Sponge Spicules in Coral Reef Sediments. – Marine Biology, 49, 147–159.
- SIMPSON, T.L. (1981): Effects of Germanium on Silica Deposition in Sponges. – In: SIMPSON, T.L. & VOLCANI, B.E. (Eds.): Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems, 527–550, Springer-Verlag.

Anschrift der Verfasser:

Univ.-Prof. Dr. Helfried Mostler, Dr. Zoltan Balogh, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Austria

eingereicht: 12. Jan. 1994

angenommen: 2. Feb. 1994

Tafelerläuterungen

Tafel 1

(Fig. 1–4, 6, 8, 11, 15, hierbei handelt es sich um Spicula aus den Oberalmer Schichten; Fig. 5, 12–14 um solche aus Nattheim und Fig. 7 stammt aus den Roßfeldschichten der Unterkreide)

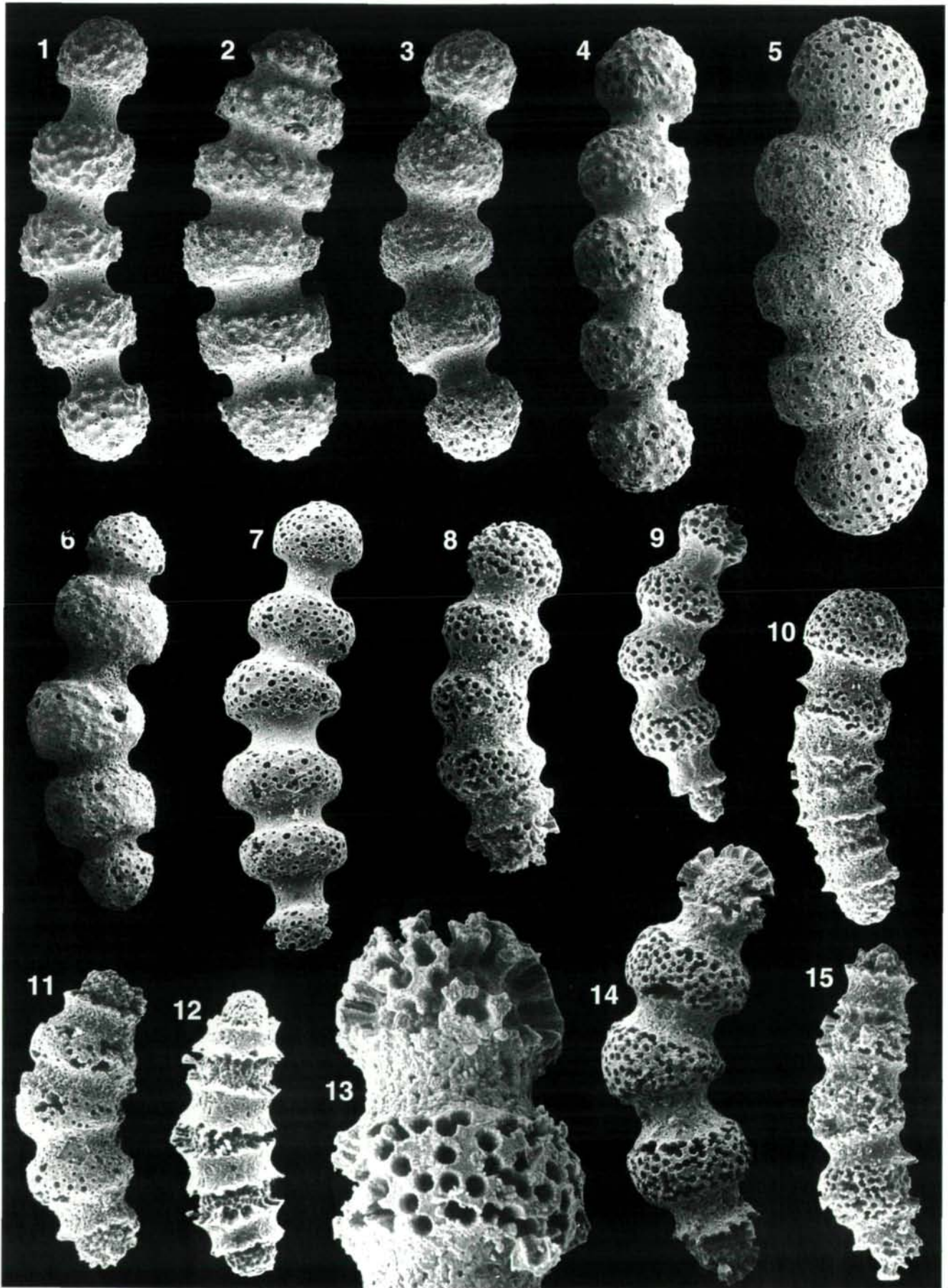
- Fig. 1: Schmales Mikrorhabd, dessen Ringabschnitte noch sehr deutlich die unregelmäßigen Pustelreihen zeigen, die nur im distalsten Bereich weggelöst sind (230 x).
- Fig. 2: Dickwüchsiges Microrhabd, an dessen Ringsegmenten die Pustel- und Dörnchenspitzen schon stärker abgetragen sind (230 x).
- Fig. 3, 4: Noch stärkere Korrosion, wodurch schon viele Kanäle freigelegt werden (230 x; 250 x).
- Fig. 5: Die korrosive Abtragung an den Ringelementen ist so weit fortgeschritten, daß alle Zweigkanäle freigelegt sind (250 x).
- Fig. 6: Die größeren Löcher sind diagenetische Lösungshohlräume (230 x).
- Fig. 7–11: Sehr weit fortgeschrittene Lösungskorrosion mit teilweiser Abtragung der stark erweiterten äußeren Zweigkanäle (alle Vergrößerungen 230 x).
- Fig. 12: Nahezu völliger Abbau der äußeren Zweigkanäle, die von der achsenparallelen Auflösung nicht erfaßt wurden (300 x).
- Fig. 13: Vergrößerung eines Ringbereichs, an dem der Abbau der einzelnen Zweigkanäle deutlich erkennbar ist (750 x).
- Fig. 14, 15: Darstellung eines ähnlichen partiellen Abbaus der Zweigkanäle wie in Fig. 13 (350 x).

Tafel 2

(Fig. 1, 4, 6–9, 11–13 Spicula von Nattheim, Fig. 2, 3, 5, 10 Spicula, von den Oberalmer Schichten stammend)

- Fig. 1: Stark vergrößertes Ringelement (1250 x), um auf der einen Seite die im Zuge der Diagenese gebildete Außenfläche des stark erweiterten Achsialkanals zu zeigen, zum anderen die noch erhalten gebliebenen Zweigkanäle, die in Form eines Bienenwabemusters der zuvor genannten Grenzfläche aufzuwachsen scheinen, darzulegen. Die Poren im Zentrum der Bienenweabenstruktur deuten noch recht gut die Verbindung zum Achsialkanal an, der spätdiagenetisch mit plattigem Quarz verfüllt wurde (vgl. Fig. 8 und 9 auf Taf. 2).
- Fig. 2: Lösungsnarben, besonders gut sichtbar im oberen Ringabschnitt, und Lösungskanäle (große Löcher), stets senkrecht zum Rhab entwickelt (350 x).
- Fig. 3–7: Verschiedene Stadien des äußeren Zweigkanalabbaues (Fig. 2–5 = 250 x; Fig. 6–7 = 350x).
- Fig. 8–9: Querschnitte durch Ringsegmente, um die ehemalige korrosive Ausweitung des Achsialkanales aufzuzeigen und die spätdiagenetische zweiphasige Füllung des ehemaligen Hohlräumeres darzustellen. (Die strichlierte Linie soll die Grenze zwischen der Innenfüllung = plattiger Quarz und dem Rand (äußere, zuerst entstandene feinkörnige Quarzgeneration) aufzeigen).
- Fig. 10–13: An diesen Skleren sieht man deutlich die diagenetischen Endstadien. Die Ringsegmente sind nach völligem Lösungsabtrag wesentlich schmaler als die Zwischenringelemente, die nun wie Manschetten die Ringelemente stark überragen (Fig. 10 = 250 x; Fig. 11 und 13 = 300 x; Fig. 12 = 250 x).

Tafel 1



Tafel 2

