

„Algen/Zement“-Riffe

Von ERIK FLÜGEL*)

Herrn em. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. O. M. FRIEDRICH
aus Anlaß der Vollendung seines 85. Lebensjahres
zugeeignet

Faziesanalyse
Riffe
Karbonatgesteine
Perm
Trias

Inhalt

Zusammenfassung	125
Abstract	125
1. Einleitung	123
2. Definition und Beschreibung	126
3. „Algen“- und Zement-Krusten	127
4. Begleitfauna und -flora	128
5. Diskussion	128
Dank	129
Literatur	129

Zusammenfassung

Im Zeitbereich Unterperm bis untere Obertrias tritt ein spezieller Riff-Typus auf, der durch das quantitative Überwiegen von „Algen-Krusten“ und synsedimentären, submarin gebildeten Karbonatzementen sowie durch das Zurücktreten von sessilen Organismen charakterisiert ist. Die Karbonatzemente sind als fibröse, radiaxiale und botryoidale Zementkrusten und Hohlraumzemente entwickelt, die zusammen und im Wechsel mit biogenen mikritischen und mikrosparitischen Krusten in gesteinsbildender Häufigkeit auftreten. Diese „Algen-Krusten“ können ebenso wie pelsparitische Zemente als mikrobielle Bildungen gedeutet werden. Derart dürfte eine bakteriell induzierte Kalkfällung im hochenergetischen Milieu am Rand von Karbonatplattformen und am oberen Hang zur Entstehung von Riffen führen, ohne daß organogene Riffgerüste vorhanden waren. In diesem Riffotyp ist eine Voranreicherung von Metallionen durch Biotransfer von Bakterien in Mikrobenkrusten denkbar.

Abstract

„Algal/Cement Reefs“, known only from the Lower Permian to lower Upper Triassic time interval, are characterized by the quantitative predominance of „algal crusts“ and synsedimentary submarine carbonate cements. Potential framebuilders (Calcisponges, *Tubiphytes*, bryozoans) are scarce. Fibrous, radiaxial and botryoidal cement crusts alternate with micritic and microsparitic biogenic crusts (often called *Archaeolithoporella* or *Stromaria*). Both, the so-called „algal crusts“ and the cement crusts, as well as pelsparitic crusts, can be interpreted as of microbial origin. Bacterially induced carbonate precipitation near the platform margins and at the upper slope may form reef-like structures without major contributions of an organic

framework. An early concentration of metal ions might occur within microbial carbonates caused by bacterial biotransfer of ions within the reef complex.

1. Einleitung

O. M. FRIEDRICH (1963a, 1972) hat im Rahmen der Diskussionen über die Entstehung der alpinen Pb-Zn-Lagerstätten darauf hingewiesen, daß mitteltriadische Algenkarbonate als „Erzfallen“ gedeutet haben könnten, sofern aus Setzungsrisse im Becken austretende Metalllösungen in diesen porösen Kalken angereichert wurden. FRIEDRICH dachte an eine dadurch bedingte „Vergiftung“ der in den Algenbänken und Riffen lebenden Organismen.

Die triadischen Pb-Zn-Lagerstätten nördlich und südlich der Periadriatischen Naht finden sich sowohl in lagunären als auch in riffogenen Karbonatgesteinen (BRIGO et al., 1977). Ein Teil dieser Riffkalke entspricht in seinem Aufbau und in seiner Genese einem eigenständigen Riff-Typus, der nach dem Überwiegen von „Algenkrusten“ und Karbonatzement als „Algen/Zement-Riff“ (A/Z-Riff) bezeichnet werden kann. Derartige Riffe sind aus dem höheren Anis, Ladin und Cordevol sowohl aus dem alpinen Raum als auch aus Südspanien bekannt. In beiden Gebieten treten in diesen Karbonatgesteinen und in den benachbarten Lagunensedimenten Vererzungen auf.

A/Z-Riffe sind jedoch auch aus dem Perm bekannt, wo sie in charakteristischer Weise aus dem Unterperm der Südalpen und des Ural sowie aus dem mittleren und oberen Perm von Slowenien, aus der USSR, China

*) Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. ERIK FLÜGEL, Institut für Paläontologie, Universität Erlangen-Nürnberg, Loewenichstraße 28, D-8520 Erlangen.

und aus den USA beschrieben wurden, vielfach jedoch nicht als spezieller Riff-Typus, jedoch als eine Fazies, die infolge des auffallenden Zurücktretens von „riffbildenden“ Organismen Anlaß zu noch andauernden Diskussionen über die Entstehungsweise dieser Riffe bot. Dies gilt unter anderem auch für Teile des als klassisches fossiles Riff betrachteten und im Bautyp mit rezenten Riffen verglichenen „Capitan Reef“ im Permian Reef Complex von Texas und New Mexico.

Ziel der folgenden Zeilen ist eine Diskussion der A/Z-Riffe im Hinblick auf die wahrscheinliche Genese und die möglichen Beziehungen zwischen Riffbildung und Anreicherung von Metallionen. Zur Untermauerung der vorgelegten Interpretationen sind geomikrobiologische und isotopengeochemische Untersuchungen notwendig, die in Erlangen und in Cardiff (im Rahmen der Arbeiten von Dave EDWARDS) angelaufen sind. Es erscheint aber sinnvoll, jetzt den auf Feld- und Schliffbeobachtungen sowie rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen basierenden Kenntnisstand zusammenzufassen, um zu verhindern, daß das Konzept der A/Z-Riffe schließlich in die Kategorie einer „aufgeblasenen und in bunten Farben schillernden theoretischen Eintagsfliege“ (FRIEDRICH, 1963b) eingeordnet wird.

2. Definition und Beschreibung

A/Z-Riffe entsprechen massiven Karbonatkörpern, bei deren Aufbau biogene Krusten und syngedimentär gebildete, frühdiagenetische Karbonatzemente quantitativ überwiegen. In vielen Fällen sind die biogenen Krusten strukturlos oder sie liegen als im mm-Bereich eng aufeinanderfolgende gewellte Mikritlagen und Mikrospartit- bzw. Spartitlagen vor, die in der Literatur über permische und mitteltriadische Riffe als *Archaeolithoporella* oder als *Stromaria* bezeichnet werden. Diese Krusten treten zusammen mit Zementkrusten auf, die durch fibröse, radiaxiale und botryoidale Zementtypen ausgezeichnet sind. Wie aus der Inkrustation der Zemente durch sessile Foraminiferen, Tubiphyten oder Serpuliden erkennbar ist, wirkten die submarinen Karbonatzemente als Hartgründe. Biogene Krusten und Zemente treten auch als Resedimente auf, die in syngedimentären Brekzien durch biogene Anlagerung und submarine Zemente verbunden werden. Die Diversität in den A/Z-Riffen ist – verglichen mit der in ökologischen Riffen oder in Reef Mounds – relativ gering. Es treten Kalkschwämme, Bryozoen und in ihrer systematischen Stellung unklare Organismen wie Palaeoaplysinen im Perm und röhrenförmige sowie inkrustierende Mikroproblematika in der Mitteltrias auf. Zwischen den Mikritlagen und auflagernd auf den Zementlagen finden sich sehr kleine Pelioide und durch schmale Kalzitsäure verbunden Peloidaggregate.

Dieser Faziestyp kann zusammen mit anderen, für ein flachmarines Ablagerungsmilieu kennzeichnenden Faziestypen auftreten (zum Beispiel Algen/Kalkschwamm-Biolithite; bioklastische Packstones; lithoklastische Rudstones), jedoch dominieren Kalke, in denen der Anteil der A/Z-Fazies zwischen etwa 40 und über 80 % liegt. In einigen A/Z-Riffen überwiegen resedimentierte Riffkalke (Beispiel Bled/Slowenien, über 90 % der Proben; FLÜGEL et al., 1984a).

Die Mächtigkeit der A/Z-Riffe liegt im Bereich von Zehnermetern, kann jedoch auch hundert Meter über-

steigen (Wettersteinkalk). Ein topographisches Relief ist aus dem Auftreten der syngedimentären Brekzien abzulesen.

Beispiele

Riffkalke, die der oben gegebenen Definition entsprechen, sind unter anderem von folgenden Lokalitäten bekannt:

Perm

Unterpermische Trogkofel-Kalke der Karnischen Alpen (FLÜGEL, 1981); unterpermische Kalke des Schachtau-Massivs im Vorural (KOROLYUK, 1985); unteres und oberes Perm des Ural (CHUVASHOV, 1983, 1986); Oberperm des Kaukasus (PISERA & ZAWIDZKA, 1981); mittelpermische Neoschwagerinen-Kalke von Bled, Julische Alpen (FLÜGEL et al., 1984a); Unterperm der Sacramento Mountains, New Mexico (MAZZULLO & CYS, 1977); Permian Reef Complex von Texas und New Mexico (BABCOCK, 1977, MAZZULLO & CYS, 1977; TOOMEY & BABCOCK, 1983); oberpermische Riffkalke in West-Hubei, China (FAN et al., 1982).

Trias

Anisische Riffkalke der Dolomiten (BLENDINGER, 1983; FOIS & GAETANI, 1984; ladinische und tiefkarnische Riffkalke der Dolomiten (BIDDLE, 1981; BLENDINGER, 1986; GAETANI et al., 1981), der Nordalpen (Wettersteinkalk, zum Beispiel HENRICH & ZANKL, 1986) und des Drauzuges und der Karawanken (BECHSTÄDT, 1975); mitteltriadische Riffkalke von Südspanien, Raum Granada (FLÜGEL et al., 1984b).

Es fällt auf, daß dieser Rifftypus auf einen bestimmten Zeitbereich der Erdgeschichte beschränkt ist. Zwar finden sich durch Algenkrusten aufgebaute „Stromatolithen-Riffe“ bereits im Präkambrium und im Altpaläozoikum; diese Riffe sollten jedoch nicht mit A/Z-Riffen gleichgesetzt werden, da sie durch oft sehr geringe Organismendiversitäten gekennzeichnet und zudem häufig im hypersalinaren Bereich entstanden sind. Es fehlt die Vergesellschaftung mit Kalkschwamm- und Tubiphyten-Kalken. Eine höhere Diversität ist in diesen Riffen im oberen Perm (Zechstein) mit einer Abnahme der Häufigkeit und Differenzierung der Stromatolithen verbunden (PAUL, 1980). Eher mit A/Z-Riffen vergleichbare Strukturen hat SMITH (1981) aus dem englischen Oberperm beschrieben.

Andererseits sollten auch die oberjurassischen Schwamm/Algen-Riffe des süddeutschen Raumes nicht als A/Z-Riffe bezeichnet werden, da die in vielen dieser Riffe häufigen laminierten Peloidzementkrusten und Mikritkrusten nicht mit Karbonatzementlagen wechsellagern, sondern Anhäufungen von Kieselchwämmen und loses Biogenschuttmaterial stabilisierten. Die derart gebildeten sukzessiven Hartböden dienten als Substrate für die weitere Besiedlung (LANG, 1988). Zudem treten die Peloidzementkrusten in mikritischen Kalken auf. Genetisch sind gewisse Vergleiche mit der Bildung der Krusten in den A/Z-Riffen möglich, da in beiden Fällen eine bakteriell induzierte Karbonatabscheidung wahrscheinlich ist.

Auch der von HECKEL (1974) als „cementation framework reef“ und von SCHMIDT et al. (1980) als „cementation reef“ beschriebene Riffotypus aus dem Mitteldevon entspricht nicht A/Z-Riffen, da die für den Aufbau des Riffkörpers erforderliche rasche syngedimentäre Ze-

mentation in Hohlräumen zwischen und unterhalb von gerüstbauenden sessilen Organismen (Stromatoporen, Korallen) erfolgt und nicht in einem von „Algen“ dominierten Bereich an der Grenze Sediment/Wasser. Auch hier ergeben sich jedoch im Hinblick auf die Wechselbeziehung von mikritischen „Algenkrusten“ und rascher submariner Zementation Vergleichsmöglichkeiten.

Die angeführten permischen und triadischen Beispiele spiegeln spezielle paläogeographische Situationen wider: Für die Trogkofel-Kalke der Südalpen, die unterpermischen Riffkalke des Ural und Vorural, für den Capitan-Kalk im Permian Reef Complex und für die oberpermischen Riffe in West-Hubei sind Plattformrandpositionen wahrscheinlich. Gleiches ist bei den aus dem oberen Anis sowie aus dem Ladin und Cordevol der Nord- und Südalpen bekannten A/Z-Riffkalken der Fall. Für einige anisische Vorkommen sind Entstehungsbereiche am oberen Hang vorstellbar. FOIS & GAETANI (1984) haben gezeigt, daß „algal boundstones“ häufig am Beginn der Entwicklung von mitteltriadischen Riffen stehen und daß das Wachstum dieser Riffe in geschützten, etwas tiefer liegenden Hang- oder Rampenbereichen beginnen kann.

Eine Rampeposition von A/Z-Riffen wird durch die wahrscheinlich durch Stürme bedingte starke Aufarbeitung und Umverteilung von Riffkarbonaten für das Beispiel Bled (FLÜGEL et al., 1984a) und für den Vorural (KOROLYUK, 1985) angezeigt.

3. „Algen“- und Zement-Krusten

Die in den A/Z-Riffen auftretenden Krusten werden verschieden bezeichnet. Neben allgemein gehaltenen Namen wie „Algenlaminationen“ oder „mikritische Krusten“ findet sich der Begriff „Archaeolithoporellen-Krusten“. Der Name *Archaeolithoporella* wurde von ENDO (1959) für eine „Alge“ aus dem Perm von Japan vorgeschlagen. Es handelt sich um alternierende, aus dunkel und hell gefärbten Kalzitlagen bestehende Inkrustationen auf und um Organismen (zum Beispiel Tubiphyten, Bryozoen, Kalkschwämme, Serpuliden, Schalen) und auf submarinem Zement. Die Dicke der einzelnen Lamellen liegt zwischen 20 und 30 (zum Teil auch bis 50) Mikron. Die im Durchlicht dunkel erscheinenden (mikritischen) Lamellen bestehen aus sehr kleinen Kalzitkristallen (kleiner als 3 Mikron), die hellen Lamellen aus granularen und schwach gelängten größeren Kristallen (bis 10 Mikron), deren Größe meist im Mikrosparitbereich bleibt. *Archaeolithoporella* kann aus wenigen oder aber aus relativ vielen dunklen Lagen bestehen (eine Lage bis zu etwa zehn Lamellen). Die Dicke der Gesamtstruktur erreicht meist nur wenige Millimeter. Permische *Archaeolithoporellen* scheinen mehr Lamellen und größere Gesamtdicken (bis zu 20 mm) zu besitzen als triadische Krusten, in denen manchmal nur eine oder zwei Lamellen auftreten. Die Oberfläche der mikritischen Lamellen ist schwach „gekräuselt“ – eine Erscheinung, die bereits SANDER (1936) im Zusammenhang mit der Beschreibung von Algenfilmen in triadischen Kalken als „Kräuselschichtung“ beschrieben hat. Selten sind domförmige, gleichsinnig gerichtete Aufwölbungen erkennbar. *Archaeolithoporella* zeigt ein bevorzugtes Vertikalwachstum, kleidet jedoch auch primäre Hohlräume sowie Lösungshohlräume aus. Das Krustenwachstum beginnt mit einer dunklen Mikritlage.

PERYT (1986) hat darauf hingewiesen, daß diese biogene Struktur von BRAUCH (1923) aus Zechsteinkalken bereits unter dem Namen *Stromaria* beschrieben worden ist.

Die mit *Archaeolithoporellen*, aber auch mit anderen, sessilen Organismen auftretenden submarinen Karbonatzemente können bis zu über 85 % des Gesteinsvolumens ausmachen (Beispiel Trogkofelkalk; Wettersteinkalk; mitteltriadische Riffkalke in Südspanien). Im Riffkalk von Bled liegt der Zementanteil in der Fazies mit *Archaeolithoporellen*, Tubiphyten und Schwämmen bei 60 %, in den Lithoklasten-Kalken bei etwa 45 %. Es handelt sich eindeutig um frühgebildete submarine Zemente. Die synsedimentäre Zementbildung wird durch folgende Kriterien bewiesen: Mehrfachzementgenerationen, die durch *Archaeolithoporella*-Krusten unterbrochen werden; Auflagerung von Peloiden und Sediment auf der Zementoberfläche; Inkrustation der Zementkrusten durch sessile Organismen wie Tubiphyten, Serpuliden oder Bryozoen, die ihrerseits wieder von *Archaeolithoporellen* über- und umwachsen werden; Zementkrusten um lithifizierte, abgebrochene und resedimentierte *Archaeolithoporella*-Krusten, die zusammen mit mikrofaziell unterschiedlichen Lithoklasten synsedimentäre Feinbrekzien bilden.

Die Zemente treten als radial-fibröse, zum Teil radiale und als botryoidale Gefüge auf. Die Kristallachsen verlaufen meist senkrecht zur Substratoberfläche. In rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen erweisen sich die in Schliffen erkennbaren fibrösen Kristalle als Aggregate kleinerer Kristalle (Breite 4–8 Mikron, Länge 30–40 Mikron, Trogkofelkalk). Insbesondere in Bled, aber auch in Proben aus den chinesischen Riffkalken und aus dem Perm-Riff des El Capitan können botryoidale Zemente beobachtet werden, deren fächerförmig ausgebreiteten, halbkugelig begrenzten Kristallaggregate gut definierte Zementkrusten auf und zwischen *Archaeolithoporellen*krusten oder Lithoklasten bilden. Die Dicke dieser teilweise braun oder gelblich gefärbten Krusten kann zwei Millimeter überschreiten. Auch diese Zementkrusten setzen sich aus fibrösen und radialen Kristallen zusammen, deren c-Achsen senkrecht zum Substrat angeordnet sind. Die Kristallitenbreite liegt zwischen 4 und 10 Mikron, die Länge zwischen 25 und 100 Mikron. Wachstumsunterbrechungen werden durch dünne Mikritlagen bzw. durch *Archaeolithoporella*-Lagen angezeigt. In den fächerförmig ausgebildeten bothyoidalen Zementen können jedoch auch große Kristalle und Kristallaggregate mit Kristallbreiten bis zu 300 Mikron und Längen bis über 600 Mikron auftreten. Habitus, Gefüge und Dimensionen dieser Zemente entsprechen den von MAZZULLO & CYS (1977) beschriebenen submarinen Zementen, die als umgewandelte primäre Aragonit-Zemente gedeutet werden. Botryoidale Zemente sind aus rezenten, pleistozänen und älteren Riffen, insbesondere aus dem Perm, bekannt (PURSER & SCHROEDER, 1986; TUCKER & HOLLINGWORTH, 1986). Die Gründe für die Genese dieser oft innerhalb von Riffhöhlen vorkommenden Zemente sind unklar.

Von Wichtigkeit für die Deutung der Zementbildung sind „Peloidzemente“, die sowohl in permischen als auch in triadischen A/Z-Riffkalcken auftreten: Es handelt sich um dünne aequigranulare Kalzit-Zementsäume um winzige mikritische Kerne (Peloide). Die Kalzitäume verschmelzen miteinander, so daß eine pelmikrospartische oder pelspartische Kruste (zum Teil mit deutlicher, durch unterschiedliche Peloidgröße beding-

ter Lamination) entsteht, die offenbar rasch lithifiziert wurde, da pelsparitische Lithoklasten häufig sind (Bled; anisische Riffkalke). Gestalt und Größe der „Komponenten“ sowie die Dicke des Kalzitsaumes erinnern stark an *Muranella* BORZA, ein in obertriadischen Riffkalcken häufiges und auf kleine geschützte Hohlräume innerhalb des Rifffes beschränktes Mikroproblematikum, das möglicherweise auf Bakterientätigkeit zurückzuführen ist.

4. Begleitfauna- und Flora

Sowohl in permischen als auch in triadischen A/Z-Riffen können zusammen mit Archaeolithoporellen und Zementen Tubiphyten, verschiedene inkrustierende Mikroproblematika (*Baccanella*, *Ladinella*, *Macrotubus*) und Kalkschwämme auftreten. In den mitteltriadischen Kalcken von Südspanien spielen Serpuliden zusammen mit Tubiphyten eine wichtige Rolle. Da die A/Z-Riffkalcke nur einen Teil des Rifffkomplexes ausmachen können (wie zum Beispiel in Bled), sind auch weitere Faunenelemente zu erwarten, die in getrennten Mikrofaziestypen vorkommen (Bryozoen, Echinodermen, Ostracoden). In russischen und nordamerikanischen Permriffen finden sich auch Palaeoaplysinen und phylloide Algen. Dasycladaceen fehlen, desgleichen meist auch vagile Foraminiferen.

5. Diskussion

Die Zeitgebundenheit der A/Z-Riffe wirft die Frage auf, ob für diesen speziellen Rifftyp auch eine spezielle, von anderen Rifftypen abweichende Entstehungsweise wahrscheinlich ist: Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, daß die aufbauende Tätigkeit von sessilen Organismen gering, zum Teil auch fehlend war. Dies läßt sich aus den Wuchsformen (überwiegend niedrigwüchsig), aus der geringen Besiedlungsdichte und aus dem Fehlen von sich gegenseitig abstützenden Organismen ableiten. Mikritkrusten (Archaeolithoporellen) und synsedimentäre submarine Zementkrusten und Interpartikelzemente sind eindeutig quantitativ von größerer Bedeutung als potentielle gerüstbauende Organismen.

Für eine Deutung der Mikritkrusten und der Mikrit/Mikrosparit-Wechselagen als „Algen“ gibt es kaum fundierte Hinweise. Es fehlen morphologische Differenzierungen wie bei Rotalgen (zu denen *Archaeolithoporella* zunächst gestellt wurde) oder wie bei porostromaten Algen. Die Wuchsformen von *Archaeolithoporella* zeigen, daß neben anscheinend lichtabhängigen auch lichtneutrale Mikroorganismen an der Bildung der Strukturen beteiligt waren (Auskleidung von Hohlräumen). Die übliche Ansprache von zum Teil ähnlichen biogenen Strukturen als „spongiostromate Algenkrusten“ hilft nicht weiter, da in den Mikritlagen Spuren von gering verkalkten Filamenten fehlen. Da die Filamente eucaryotischer Algen morphologisch denen von Bakterien ähneln können (GOLUBIĆ, 1976), würde der Nachweis von Filamenten zudem keine Hinweise zur systematischen Eingruppierung liefern. Bisher wurden die als biogene Bildungen gedeuteten „Algen-Krusten“ meist mit der Tätigkeit von „Blaugrün-Algen“ in Verbindung gebracht. Da es sich bei dieser Gruppe um Procaryoten handelt,

wird der Name Cyanophyceen heute im allgemeinen durch Cyanobakterien ersetzt.

Bei einer Deutung der Mikritkrusten – und unter Umständen auch der Zementkrusten – als mikrobielle Bildungen sind die in letzter Zeit erarbeiteten, auch im Schlibfbereich erkennbaren Kriterien von Bedeutung, wie sie unter anderen von CASTANIER et al. (1986), CHAVETZ (1986), CHAVETZ & FOLK (1984), KRUMBEIN (1986), KRUMBEIN et al. (1977), LIGHTY (1985), MACINTYRE (1985), MARSHALL (1983), MAURIN & NOEL (1977), MAURIN (1987), MONTY (1982a, 1982b), TSIEN (1985) und WILLIAMS (1984) beschrieben wurden. Demnach können folgende Merkmale auf eine bakteriell induzierte Karbonatbildung in marinen Milieu hinweisen:

Filamente (im allgemeinen kleiner als vier Mikron), eingeschlossen in Kalzitkristallen; kugelige oder in Kugelaggregaten auftretende coccoidale Zellen; Hohlräume in Kalzitkristallen, welche die filamentöse oder coccoidale Zellengestalt nachzeichnen; auffallende braun oder gelblich gefärbte Kristalle (bedingt durch feinverteilte organische Substanz); sehr kleine „Peloide“ mit einem undeutlichen, wolkig erscheinenden, oft bräunlichen „Kern“ und einem Saum aus hellen, durchscheinenden euhedralen Kalzitkristallen, die eine mikrosparitische „Matrix“ bilden können (zum Teil laminiert; häufig in primären Poren); gewölbte Mikritkrusten mit gekräuselten Oberflächen; „Krümelstrukturen“ (Mikrit mit unregelmäßig verteilten, schlecht begrenzten Peloiden und sparitischen Bereichen); ästig ausgebildete, verzweigte, sehr kleine Mikritstrukturen in Höhlungen oder in kaum durchlichteten Spalten; verschieden große autochthone Peloide, „Ooide“ und „Onkoide“ innerhalb von Stromatolithen.

Von diesen Merkmalen sind in den A/Z-Riffen nachzuweisen: Winzige Peloide mit undeutlichen bräunlich-schwarzen Kernen und charakteristischen Zementsäumen, die Mikrosparitmatrix bilden können und zum Teil laminiert sind; gewölbte Mikritkrusten mit gekräuselter Oberfläche; Mikritkrusten und *Archaeolithoporella*-Krusten innerhalb von Hohlräumen; auffallend braun und gelblich gefärbte Kalzitmente, insbesondere in botryoidalen Zementen.

In rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen von Archaeolithoporellen (FLÜGEL et al., 1984) sind deutliche Unterschiede in der Kristallgröße in den mikritischen Lagen (0,3–1,2 Mikron) und in den hellen mikrosparitischen Lagen (1–2,8 Mikron) erkennbar. Die schwach geätzten größeren Kristalle weisen isolierte ovale offene Poren auf, die nach Gestalt und Größe Hohlformen von Bakterien darstellen könnten.

Aus Laborexperimenten über bakterielle Karbonatproduktion und aus der geomikrobiologischen Untersuchung von rezentem Karbonatschlamm ist die bedeutende Rolle sowohl von heterotrophen als auch von sulfatreduzierenden anaeroben Bakterien bei der Bildung und Lithifizierung von marinen karbonatischen Sedimenten bekannt (KRUMBEIN, 1974, 1978; CASTANIER et al., 1984; CHAVETZ, 1986; BOYAN, 1987). Für die Entstehung der pelsparitischen Zementkrusten in den süddeutschen oberjurassischen Schwamm/Algenriffen konnte KRUMBEIN (in LANG, 1988) durch den photoakustischen Nachweis von photosynthetischen Pigmenten von Schwefelpurpurbakterien, Eubakterien und Bakteriophyten eine Karbonatfällung im gering durchlichteten anaeroben Milieu knapp unter der Krustenoberfläche wahrscheinlich machen.

MONTY (1982b) hat darauf hingewiesen, daß Bakterien nicht nur bei der Bildung von mikritischen Krusten und „Komponenten“ beteiligt sein können, sondern auch bei der Entstehung von „microbial spars“. Derartige Sparitkristalle können in Hohlräumen wachsen, die von Mikrobenschleimschichten ausgekleidet sind, oder um Filamente, oder aber als sukzessive Inkrustationen von chemisch abgeschiedenen Zementen. Verbindet man diese Beobachtungen mit der Möglichkeit, daß die Anwesenheit von organischer Substanz (auch in Form von Bakterienfilmen) zur Fällung von Aragonit oder Kalzit im flachmarinen sauerstoffreichen Milieu führen kann (MITTERER & CUNNINGHAM, 1985), so könnte sowohl die Entstehung der Mikrosparitlagen und Mikritlagen in *Archaeolithoporella* als auch unter Umständen die Bildung der Zementkrusten auf mikrobielle Induzierung zurückzuführen sein. Ein sauerstoffreiches Milieu ist in der hochenergetischen Zone an Rändern von Karbonatplattformen zu erwarten.

„Algen/Zement-Riffe“ wären demnach besser als „Mikroben/Zement-Riffe“ zu bezeichnen.

Für die Erklärung, warum A/Z-Riffe anscheinend auf einen bestimmten Zeitraum der Erdgeschichte beschränkt sind oder im Perm und in der Trias bevorzugt auftreten, ist unter Umständen die Änderung des Lebensraumes kalzifizierender Cyanobakterien ab der mittleren Kreide (Übergang vom marinen zum nichtmarinen Milieu; RIDING, 1982) wichtig. Hierzu könnte die (unter Umständen durch einen Wechsel in der Chemie der Ozeane bedingte) Abnahme in der Intensität der marinen Karbonatzementation etwa ab dem Jura treten (PURSER & SCHROEDER, 1986). Letztlich wäre es auch vorstellbar, daß die Zeitgebundenheit mit dem derzeit diskutierten zeitlichen Wechsel in der Mineralogie der im Meer gebildeten Karbonatmodifikationen in Verbindung steht. Nach SANDBERG (1985) wechseln aragonitbetonte Zeiten (mit Abscheidung von Aragonit und Hochmagnesiumkalzit-Zementen und -Ooiden; spätes Präkambrium bis unteres Kambrium, oberes Unterkarbon bis Trias/Jura-Wende; ab Alttertiär) mit kalzitbetonten Zeiten, in denen nur Hochmagnesium-Kalzit (und vielleicht auch Niedrigmagnesiumkalzit?) gebildet wurde. PURSER & SCHROEDER (1986) haben darauf hingewiesen, daß diese Muster auch in den phanerozoischen Riffzementen erkennbar sind (mit Ausnahme von pleistozänen und rezenten Zementen, in denen Hochmagnesiumkalzit dominieren kann).

Eine mikrobiell induzierte und geförderte, in der Zeit schnellere Hartbödenbildung wie sie in den A/Z-Riffen zum Ausdruck kommt, könnte auch bei der Erklärung der im Karn erfolgten globalen Umstellung in der Zusammensetzung der Riffassoziationen (FLÜGEL, 1982) wichtig sein. Hartböden sind für inkrustierende, meist niedrigwüchsige Organismen von Vorteil; in post-karnischen Riffen treten neben Hartbödenbewohnern auch Bewohner von Sand- und Schlammböden auf.

Eine mikrobielle Genese von „Algen/Zement-Riffen“ kann auch für Überlegungen über eine frühe Anreicherung von Metallen interessant sein: Bakterien sind nicht nur in biolaminieren Sedimenten für den Biotransfer von Metallionen von wesentlicher Bedeutung (MENDEL-SOHN, 1976; WESTBROEK & DE JONG, 1983; GERDES & KRUMBEIN, 1986; KRUMBEIN, 1986), sondern auch in Riffen und riffnahen Gebieten, in welchen eine primär hohe Porosität, gute Wegsamkeit und ein hoher Gehalt an organischer Substanz gute Voraussetzungen für einen frühen Transport von Elementen wie zum Beispiel Fe,

Mn, Cu, Zn und Pb darstellen können. Es wäre zu überlegen, inwieweit die von FRIEDRICH (1973) für einige alpine Pb/Zn-Lagerstätten vermuteten Zusammenhänge zwischen syngenetischer Vererzung und „Algen“ durch die Vorstellung einer Voranreicherung von Metallionen durch Mikroben in den „Algenkrusten“ der Algen/Zement-Riffe ausgebaut werden können.

Dank

Die Arbeit ist Herrn Univ.-Prof. Dr. O. M. FRIEDRICH, Montanuniversität Leoben, zum 85. Geburtstag gewidmet. FRIEDRICH hat in vielen Arbeiten die komplexen Abläufe bei der Bildung von epi- und syngenetischen Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen beschrieben. Die Bildung von Riffkarbonaten in dem hier skizzierten Sinn mag diese Komplexität erweitern.

Die Untersuchungen der „Algen/Zement-Riffe“ erfolgen im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft in dankenswerter Weise unterstützten Forschungsprojektes „Evolution von Riffen“ (FL 42/49-1,2).

Literatur

- BABCOCK, J. A.: Calcareous algae, organic boundstones, and the genesis of the Upper Capitan Limestone (Permian, Guadalupian), Guadalupe Mountains, West Texas and New Mexico. – In: HILEMAN, M. E. & MAZZULLO, S. J. (eds.): Upper Guadalupian facies Permian reef complex, Guadalupe Mountains, New Mexico and West Texas, Soc. Econ. Paleont. Min., Permian Basin Section, 1977 Field Conf. Guidebook, Publ. 77-16, 3-44, 34 Abb., Tulsa 1977.
- BECHSTÄDT, T.: Lead-zinc ores dependent on cyclic sedimentation (Wetterstein Limestone of Bleiberg-Kreuth, Carinthia, Austria). – *Mineralium Deposita*, **10**, 234-248, 1975.
- BIDDLE, K. T.: The basinal Cipit boulders: indicators of Middle to Upper Triassic buildup margins, Dolomite Alps, Italy. – *Rivista Ital. Strat. Paleont.*, **86**, 779-794, Taf. 91-92, Milano 1980.
- BLENDINGER, W.: Anisian sedimentation and tectonics of the M. Pore – M. Cernera area (Dolomites). – *Rivista Ital. Paleont. Strat.*, **89**, 175-208, 20 Abb., Milano 1983.
- BLENDINGER, W.: Isolated stationary carbonate platforms: The Middle Triassic (Ladinian) of the Marmolada area, Dolomites, Italy. – *Sedimentology*, **33**, 159-183, 21 Abb., Oxford 1986.
- BRAUCH, W.: Verbreitung und Bau der deutschen Zechstein-Riffbildungen – *Geol. Archiv*, **2**, 100-187, Königsberg 1923.
- BRIGO, L., KOSTELKA, L., OMENETTO, P., SCHNEIDER, H.-J., SCHROLL, R., SCHULZ, O. & STRUCL, I.: Comparative Reflections on Four Alpine Pb-Zn Deposits. – In: KLEMM, D. D. & SCHNEIDER, H.-J. (eds.): Time- and Strata-Bound Ore Deposits, 273-293, 4 Abb., Berlin – Heidelberg – New York (Springer) 1977.
- CASTANIER, S., MAURIN, A. & BIANCHI, A.: Participation bactérienne à la précipitation du carbonate. – *C.R. Acad. Sci. Paris*, **299**, 1333-1336, Paris 1984.
- CHAVETZ, H. S.: Marine Peloids: a Product of Bacterially Induced Precipitation of Calcite. – *J. Sed. Petrol.*, **56/6**, 812-817, 3 Abb., Tulsa 1986.
- CHAVETZ, H. S. & FOLK, R. L.: Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. – *J. Sed. Petrol.*, **54**, 289-316, Tulsa 1984.
- CHUVASHOV, B. I.: Permian Reefs of the Urals. – *Facies*, **8**, 191-212, Taf. 31-33, 6 Abb., 2 Tab., Erlangen 1983.
- CHUVASHOV, B. I.: The main types of carbonate rocks of the Kungurian evaporite basin of the Urals. – In: HARWOOD, G. M. & SMITH, D. B. (eds): The English Zechstein and Related Topics. – *Geol. Soc. Spec. Publ.*, **22**, 225-232, 4 Abb., Oxford (Blackwell Sci. Publ.) 1986.
- ENDO, R.: Stratigraphical and paleontological studies of the later Paleozoic calcareous algae in Japan. XIV. – *Sci. Rep. Saitama Univ.*, **B.**, **3**, 177-207, Saitama 1959.

- FAN JIANGONG, MA XING, ZANG YINBEN & ZHANG WEI: The Upper Permian Reefs in West Hubei, China. – *Facies*, **6**, 1–14, Taf. 1–2, 4 Abb., Erlangen 1982.
- FLÜGEL, E.: Lower Permian Tubiphytes/Archaeolithoporella Buildups in the Southern Alps (Austria and Italy). – *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.*, **30**, 143–160, 9 Abb., Tulsa 1981.
- FLÜGEL, E.: Evolution of Triassic Reefs: Current Concepts and Problems. – *Facies*, **6**, 297–327, 7 Abb., Erlangen 1982.
- FLÜGEL, E., KOCHANŠKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A.: Middle Permian Calcisponge/Algal/Cement Reef: Straza near Bled, Slovenia. – *Facies*, **10**, 179–256, Taf. 24–42, 7 Abb., Erlangen 1984.
- FLÜGEL, E., FLÜGEL-KÄHLER, E., MARTIN, J. M. & MARTIN-ALGARRA, A.: Middle Triassic Reefs from Southern Spain. – *Facies*, **11**, 173–218, Taf. 20–30, 7 Abb., Erlangen 1984.
- FOIS, E. & GAETANI, M.: The Recovery of Reef-Building Communities and the Role of Cnidarians in Carbonate Sequences of the Middle Triassic (Anisian) in the Italian Dolomites. – *Palaeontographica Americana*, **54**, 191–200, 11 Abb., Washington 1984.
- FRIEDRICH, O. M.: Archiv für Lagerstättenforschung in den Ostalpen. Vorwort. – *Arch. Lagerstättenforsch. Ostalpen*, **1**, 1–2, Leoben 1963a.
- FRIEDRICH, O. M.: Zur Genesis der Blei- und Zink-Lagerstätten in den Ostalpen. – *N. Jb. Min. Mh.*, **1964**, 33–49, Stuttgart 1964.
- FRIEDRICH, O. M.: Geosynklinalbildung und Lagerstätten. – *Arch. Lagerstättenforsch. Ostalpen*, **13**, 3–34, Leoben 1972.
- GAETANI, M., FOIS, E., JADOUL, F. & NICORA, A.: Nature and evolution of Middle Triassic carbonate buildups in the Dolomites (Italy). – *Marine Geol.*, **44**, 25–57, Amsterdam 1981.
- GERDES, G. & KRUMBEIN, W. E.: Biolaminated Deposits. – *Lecture Notes in Earth Sciences*, **9**, 183 S., 43 Abb., Berlin (Springer) 1987.
- GOLUBIC, St.: Organisms that build Stromatolites. – In: WALTER, M. R. (ed.): *Stromatolites*, *Dev. Sed.*, **20**, 113–140, 5 Abb., Amsterdam (Elsevier) 1976.
- HALLEY, R. B. & SCHOLLE, P. A.: Radial Fibrous Calcite as Early Burial Open-System Cement: Isotopic Evidence from Permian of China. – *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **69/1**, Abstract, 261, Tulsa 1985.
- HECKEL, P. H.: Carbonate buildups in the geological record: a review. – *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.*, **18**, 90–154, Tulsa 1974.
- HENNINGSSEN, G. R.: Deposition and Diagenesis of Flippen Limestone (Wolfcampian), Fisher and John Counties, Texas. – *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **69/1**, Abstract, 265, Tulsa 1985.
- HENRICH, R. & ZANKL, H.: Diagenesis of Upper Triassic Wetterstein Reefs of the Bavarian Alps. – In: SCHROEDER, J. H. & PURSER, B. H. (eds.): *Reef Diagenesis*, 245–269, 9 Abb., Berlin (Springer) 1986.
- KOROLYUK, I. K.: Metody i rezultaty izucheniya permskogo rifogennogo massiva Shakhtau (Bashkirskoe Priuralye). – *Akad. Nauk. SSSR, Min. Neft. Prom., Inst. Geol. Razrabotki Gorjuikh iskopaemikh*, 110 S., 28 Abb., Moskva 1985.
- KRUMBEIN, W. E.: On the precipitation of aragonite on the surface of marine bacteria. – *Naturwiss.*, **61**, 167–7, 1974.
- KRUMBEIN, W. E.: Algal Mats and their Lithification. – In: KRUMBEIN, W. E. (ed.): *Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology*. Vol. 1. *The Aquatic Environment*, 209–225, 10 Abb., Ann Arbor (Ann Arbor Science) 1978.
- KRUMBEIN, W. E.: Biotransfer of minerals by microbes and microbial mats. – In: LEADBEATER, B. S. C. & RIDING, R.: *Biomineralization in Lower Plants and Animals*, *Syst. Ass. Spec. Vol.*, **30**, 55–782, 5 Abb., Oxford (Clarendon Press) 1986.
- KRUMBEIN, W. E. & DAHANAYAKE, K.: Iron ores from Precambrian to recent accumulated by heterotrophic microbial mats – stromatolites. – *Terra Cognita*, **5**, 295–296, 1985.
- LANG, B.: Palökologie und Mikrofazies fränkischer Schwamm-/Algen-Riffe (Oxford, Nördliche Frankenalb). – *Diss. Univ. Erlangen* 1988.
- LIGHTY, R. G.: Preservation of Internal Reef Porosity and Diagenetic Sealing of Submerged Early Holocene Barrier Reef, Southeast Florida Shelf. – *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.*, **36**, 123–152, 45 Abb., Tulsa 1985.
- MACINTYRE, I. G.: Submarine Cements – The Peloidal Question. – *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.*, **36**, 109–116, 7 Abb., Tulsa 1985.
- MARSHALL, J. F.: Submarine Cementation in a High-Energy Platform Reef: One Tree Reef, Southern Great Barrier Reef. – *J. Sed. Petrol.*, **53/4**, 1133–1149, 7 Abb., Tulsa 1983.
- MAURIN, A. F.: Microbial Micrites. – 4th Int. Symp. Fossil Algae Cardiff, Abstracts, 24–25, Cardiff 1987.
- MAURIN, A. F. & NOEL, D.: A Possible Bacterial Origin for Famennian Micrites. – In: FLÜGEL, E. (ed.): *Fossil Algae. Recent Results and Developments*, 136–142, 3 Abb., Berlin – Heidelberg – New York (Springer) 1977.
- MAZZULLO, S. M. & CYS, J. M.: Submarine Cements in Permian Boundstones and Reef-Associated Rocks, Guadalupe Mountains, West Texas and Southeastern Mexico. – *Soc. Econ. Paleont. Min., Permian Basin Sect., 1977 Field conf. Guidebook*, *Publ.*, 77-16, 151–200, 23 Abb., Tulsa 1977.
- MENDELSON, F.: Mineral Deposits associated with Stromatolites. – In: WALTER, M. R. (ed.): *Stromatolites*, *Dev. Sed.*, **20**, 645–662, 7 Abb., Amsterdam (Elsevier) 1976.
- MIRSAL, I. A. & ZINKL, H.: Some phenomenological aspects of carbonate geochemistry. The control effect of transition metals. – *Geol. Rundschau*, **74**, 367–377, 12 Abb., Stuttgart 1985.
- MITTERER, R. M. & CUNNINGHAM, R.: The interactions of Natural Organic Matter with Grain Surfaces: Implications for Calcium Carbonate Precipitation. – *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.*, **36**, 17–31, 14 Abb., Tulsa 1985.
- MONTY, Cl.: Cavity or Fissure Dwelling Stromatolites (Endostromatolites) from Belgian Devonian Mud Mounds. – *Ann. Soc. Géol. Belgique*, **105**, 343–344, Bruxelles 1982.
- MONTY, Cl.: Microbial Spars. – *Int. Ass. Sed., 11th. Internat. Congr. Sed. Hamilton, Abstracts* 1982b.
- MONTY, Cl., BERNET-ROLLANDE, M. C. & MAURIN, A. F.: Re-interpretation of the Frasnian Classical „Reefs“ of the Southern Ardennes, Belgium. – *Ann. Soc. Géol. Belgique*, **105**, 339–341, Bruxelles 1982.
- PAUL, J.: Upper Permian algal stromatolite reefs, Harz Mountains (F. R. Germany). – *Contrib. Sed.*, **9**, 253–268, 14 Abb., Stuttgart 1980.
- PERYT, T.: Zechstein *Stromaria* (= *Archaeolithoporella*)-cement reefs in Thuringia. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1986/5**, 307–316, 6 Abb., Stuttgart 1986.
- PURSER, B. H. & SCHROEDER, J. H.: The Diagenesis of Reefs: A Brief Review of Our present Understanding. – In: SCHROEDER, J. H. & PURSER, B. H. (eds.): *Reef Diagenesis*, 424–446, 4 Abb., Berlin (Springer) 1986.
- RIDING, R.: Cyanophyte calcification and changes in ocean chemistry. – *Nature*, **299**, No. 5886, 814–815, London 1982.
- SANDBERG, Ph.: Aragonite Cements and Their Occurrence in Ancient Limestones. – *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.*, **36**, 33–57, 11 Abb., Tulsa 1985.
- SANDER, B.: Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungsgefüge (Rhythmische Kalke und Dolomite aus der Trias). – *Tschermaks Min. Petrograph. Mitt.*, **48**, 27–139, Leipzig 1936.
- SCHMIDT, V.: Inorganic and organic Reef Growth and Subsequent Diagenesis in the Permian Capitan Reef Complex, Guadalupe Mountains, Texas, New Mexico. – *Soc. Econ. Paleont. Min., Permian Basin Sect., 1977 Field Conf., Guidebook*, *Publ.* 77-16, 93–131, 43 Abb., Tulsa 1977.
- SCHMIDT, V., McDONALD, D. A. & McILREATH, I. A.: Growth and diagenesis of Middle Devonian Keg River Cementation Reefs, Rainbow Field, Alberta. – In: HALLEY, R. B. & LOUCKS, R. G. (eds.): *Carbonate Reservoir Rocks*, Notes Workshop SEPM Core Workshop, **1**, 43–63, 24 Abb., Tulsa 1980.
- SMITH, D. B.: The Magnesian Limestone (Upper Permian) Reef Complex of Northeastern England. – In: TOOMEY, D. F. (ed.): *European Fossil Reef Models*. – *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.*, **30**, 161–186, 31 Abb., Tulsa 1981.

- TOOMEY, D. F. & BABCOCK, J. A.: Precambrian and Paleozoic Algal Carbonates West Texas – Southern New Mexico. – Colorado School Mines Prof. Contrib., **11**, 1–345, Golden 1983.
- TRUDINGER, Ph. A. & MENDELSON, F.: Biological Processes and Mineral Deposition. – In: WALTER, M. R. (ed.): Stromatolites, 663–672, 1 Abb., Amsterdam (Elsevier) 1976.
- TSIEN, H. H.: Algal-Bacterial Origin of Micrites in Mud Mounds. – In: TOOMEY, D. F. & NITECKI, M. H. (eds.): Palealgology: contemporary research and applications, 290–296, 4 Abb., Berlin – Heidelberg (Springer) 1985.
- TUCKER, M. E.: & HOLLINGWORTH, N. T. J.: The Upper Permian Reef complex (EZ 1) of North East England: Diagenesis in a Marine to Evaporitic Setting. – In: SCHROEDER, J. H. & PURSER, B. H. (eds.): Reef Diagenesis, 270–290, 12 Abb., Berlin (Springer) 1986.
- WAHLMAN, G. P.: Lower Permian (Wolfcampian) Archaeolithoporella – Tubiphytes – Sponge boundstones from the Subsurface of West Texas. – In: TOOMEY, D. F. & NITECKI, M. H. (eds.): Palealgology: Contemporary research and applications, 208–215, 3 Abb., Berlin (Springer) 1985.
- WESTBROEK, P. & DE JONG, E. W. (eds.): Biomineralization and Biological Metal Accumulation. Biological and Geological Perspectives. – 593 S., Dordrecht (Reidel) 1983.
- WILLIAMS, L. A.: Subtidal Stromatolites in Monterey Formation and Other Organic-Rich Rocks as Suggested Source Contributors to Petroleum Formation. – Amer. Ass. Petrol Geol. Bull., **68**, 13 Abb., Tulsa 1984.