

René Georg Meier

**MITTELDEVONISCHE RIFFKALKE VOM
„VAL DI COLLINA“
(KARNISCHE ALPEN)**

DIPLOMARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades
eines Magisters
an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Karl-Franzens-Universität Graz

Betreuer:

A.o. Univ. Prof. Dr. Bernhard Hubmann
Institut für Erdwissenschaften

2008

DANKSAGUNG

An dieser Stelle bedanke ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dr. Bernhard Hubmann, der mir während meiner Diplomandenzeit bei meinen Fragen und Problemen immer kompetent und unterstützend zur Seite stand.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Mag. Dr. Thomas Suttner, welcher mir hilfreiche Ratschläge gab und mich bei der Arbeit im Gelände unterstützte.

Überdies gilt mein Dank Herrn Mag. Stefan Müllegger und Herrn Dr. Markus Reuter welche mir mit ihrer fachlichen Kompetenz und aufbauenden Worten zur Seite standen.

Für die Bereitstellung des Kathodenlumineszenzgerätes und der Hilfestellung bei meinen KL-Aufnahmen bedanke ich mich bei Frau Univ. Prof. Mag. Dr. Susanne Gier und Herrn Univ. Prof. Dr. Michael Wagreich vom Geozentrum Wien.

Zu guter Letzt bedanke ich mich bei jenen Personen die mir in schwierigen Lebensphasen während meiner Studienzeit zur Seite standen.

KURZZUSAMMENFASSUNG

Die untersuchten mitteldevonischen Riffkalke stammen von einem ehemaligen Steinbruch am Talschluss des „Val di Collina“ in dem angeschnittenen Flächen der Steinbruchwand besonders eindrucksvoll aufgeschlossen sind. Der Aufschlusspunkt befindet sich auf 1520 Meter Seehöhe auf italienischem Staatsgebiet der Karnischen Alpen, 1,5 km westlich des Plöckenpasses auf dem Trail 149 in Richtung Rifugio Marinelli. Dieser fossilreiche Fundpunkt wurde von verschiedenen Autoren in Exkursionsführern erwähnt (HUBMANN et al 2003; PERRI & SPALLETTA 1998; SCHÖNLAUB et al 2004; VENTURINI & SPALLETTA 1998); jedoch fehlen bis lang sedimentologische und paläontologische Studien. Die aus Riffschutt bestehenden Gesteine sind vermutlich dem Kellergrat-Riffkalk (jüngeres Givetium-Frasnium; KREUTZER 1992a) zugehörig.

Zur mikrofaziellen Untersuchung und für die Kathodenlumineszenzanalysen wurden Proben aus dem Block Co/02 (5,5 m³), sowie aus dem Hangschutt repräsentative Handstücke genommen. Weiters wurden mit Transparentfolien die Organismen des oben genannten Blockes durchgezeichnet (kartiert) um anschließend mit dem halbautomatischen Point-Counter (swift) und einem computergestützten Programm (*Analysis*) die Verteilung und den prozentuellen Anteil der Biogene zu bestimmen. Die Zusammensetzung der Fauna ist typisch für ein mitteldevonisches Riff-Ökosystem. Es weist folgende prozentuelle Verteilung der Organismen auf: 70,3 % Stromatoporen, 7 % rugose Korallen, 22,7 % tabulate Korallen (12,9 % Chaetetiden, 3,5 % Alveoliten, 3,4% Thamnoporen, 2,5 % Favositen, 0,4 % Helioliten). Die „Grundmasse“ setzt sich größtenteils aus Crinoidenschutt zusammen.

Die Ablagerung kann anhand der Korallentaxa und der Conodonten der mittleren *varcus*-Zone zugeordnet werden.

Kathodenlumineszenzanalysen der Zemente weisen auf eine Bildung im marin-vadosen bzw. marin-phreatischen Bereich hin. Indizien für eine meteorisch-vadose Beeinflussung stellen vadose Silte dar.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Aufschlusssituation.....	1
1.2	Problemstellung.....	3
1.3	Topographie der Karnischen Alpen	4
1.4	Geographische Gebietsbeschreibung	5
1.5	Arbeitsmethodik.....	6
2	GEOLOGIE DER KARNISCHEN ALPEN.....	9
2.1	Paläozoische Schichtfolgen	9
2.2	Paläozoische Riffsedimente in Österreich.....	13
2.3	Kellergrat-Formation.....	15
3	KARBONATPLATTFORMEN	16
3.1	Riffdefinition	16
3.1.1	Morphologische Grundtypen	17
3.1.2	Geographische Grundtypen	19
3.2	Moderne Riffe versus fossile Riffe.....	20
3.3	Devonischer Rifftypus	23
3.3.1	Riffzonierung.....	23
3.4	Die bathymetrischen Stufen	25
3.5	Physikalische Limitation	27
3.5.1	Hochenergieereignisse	27
3.5.2	Hydrodynamik	28
3.5.3	Riffschuttproblematik.....	29
3.6	Paläogeographie im Givetium	31
4	ERGEBNISSE	33
4.1	Berechnung mit Analysis.....	33
4.2	Quantifizierung nach dem Punktzählverfahren.....	34
4.3	Mikrofazies	37
4.3.1	Mikrofaziestabellen	38
4.3.2	Einteilung der Mikrofaziestypen	41

4.4	Kathodenlumineszenz und Zementstratigraphie	43
4.4.1	Zementtypen	43
4.5	Stratigraphie	46
4.5.1	Lithologie	46
4.5.2	Organismenverteilung	49
4.6	Riffbildner	50
4.6.1	Stromatoporen	50
4.6.1.1	Stromatoporoidea Nicholson & Murie 1878	50
4.6.2	Rugose Korallen	53
4.6.3	Tabulate Korallen	56
4.6.3.1	Favositidae Dana 1846	56
4.6.3.1.1	<i>Favosites</i> Lamarck 1816	56
4.6.3.1.2	<i>Thamnopora</i> Steininger 1831	57
4.6.3.2	Alveolitidae Duncan 1872	59
4.6.3.2.1	<i>Alveolites</i> Lamarck 1801	59
4.6.3.3	Heliolitidae Lindström 1873	61
4.6.3.3.1	<i>Heliolites</i> Dana 1846	61
4.6.3.4	Chaetetidae Milne-Edwards & Haime 1849	62
4.6.3.4.1	<i>Chaetetes</i> Fischer von Waldheim in Eichwald 1829	62
4.7	Ökologie der Organismen	63
4.8	Stratigraphische Überlegungen	64
4.9	Kathodenlumineszenzanalyse der Zemente	65
5	ABLAGERUNGSGESCHICHTE	70
5.1	Interpretation des Blockprofils	70
5.2	Ablagerungsmilieu	71
5.3	Lithifizierungsprozesse	72
6	ZUSAMMENFASSUNG	73
7	LITERATUR	74
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	83
9	TABELLENVERZEICHNIS	83
10	TAFELVERZEICHNIS	84
11	ANHANG	85

1 EINLEITUNG

1.1 Aufschlusssituation

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit fossilreichen Kalken aus dem höheren Mitteldevon der zentralen Karnischen Alpen. Der untersuchte Aufschluss liegt südlich des Grenzkammes auf Italienischem Staatsgebiet (Südhang der Kellerspitzen) und stellt einen aufgelassenen Steinbruch dar. Der Abbau erfolgte mittels Stahlseilen, wobei die Seile durch vorgebohrte Löcher gezogen wurden um das gewünschte Fragment aus der Abbauwand zu schneiden. Die Region um Collina weist zahlreiche Steinbrüche auf, die während der Zwischenkriegszeit in Betrieb waren. Der für die folgenden Ausführungen relevante Steinbruch wurde zwischen 1929 und 1933 eröffnet (ONOFRI & CARULLI, 1966). Offensichtlich wurde nur ein geringer Anteil der Blöcke auch tatsächlich ins Tal befördert und die liegen gebliebenen Blöcke sind seit 70 Jahren der Verwitterung ausgesetzt. Der Verwendungszweck und der Zielort für diese Gesteine sind nicht bekannt, jedoch wurden die Abbauprodukte der umliegenden Steinbrüche als Dekorsteine in vielen italienischen Städten verwendet und auch nach Österreich, Schweiz, Deutschland und nach Frankreich exportiert.

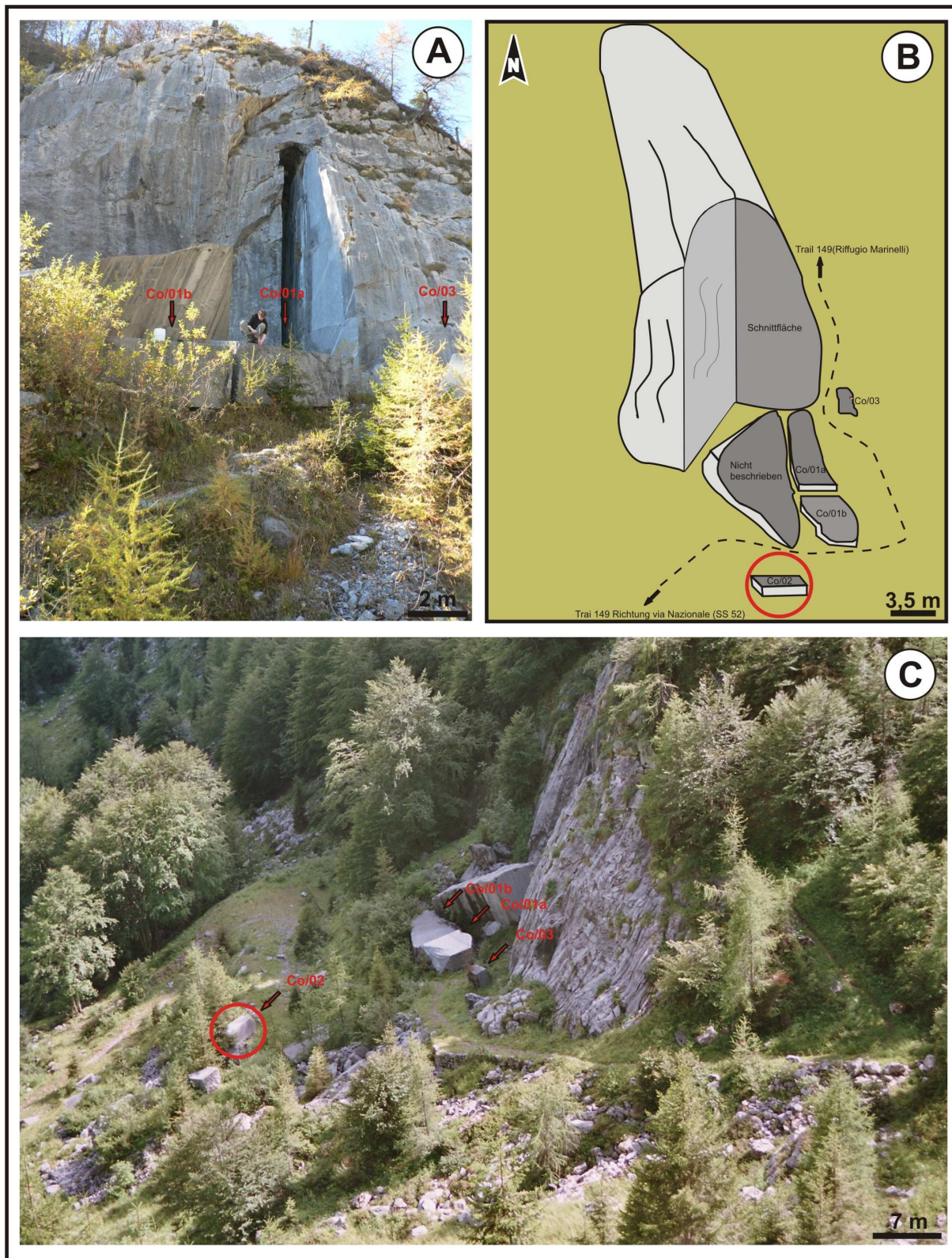


Abbildung 1: A: Ehemalige Gesteinsentnahmestelle, direkt am Trail 149 gelegen. B: Skizze des angeschnittenen Wandbereiches und der Gesteinsblöcke im Bereich des Abbaus. C: Ansicht des ehemaligen Steinbruches. Beachte den geschnittenen Wandbereich in der Bildmitte. Der Kreis zeigt die Lage des Blockes Co/02.

Alle Blöcke im Nahbereich der Abbauwand wurden nummeriert (Abb. 1). Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt in der detaillierten Untersuchung eines ausgesuchten Blockes (Co/02; 5,5 m³). Da dieser Block eine Schichtung aufweist, soll nun die Faziesverteilung für die einzelnen Sedimentabschnitte ermittelt werden.

1.2 Problemstellung

Der stratigraphische Bau der Karnischen Alpen wird durch paläozoische Schichtfolgen geprägt. Ab dem Unter/Mitteldevon etablierte sich eine Karbonatplattform mit Riffen.

Aus der Zeit vor dem 2. Weltkrieg liegen zahlreiche Arbeiten von österreichischen (z.B.: FRECH, GEYER, GAERTNER, HERITSCH) und von italienischen Autoren (z.B.: ANGELIS D'OSSAT, GORDANI, VINASSA DI REGNY) über dieses Gebiet vor (zur frühen Erforschungsgeschichte siehe HERITSCH, 1943). Eine Arbeit die sich speziell mit dem Makrofauneninhalt der Region Collina beschäftigt, stammt von VINASSA DI REGNY (1918).

Im untersuchten Steinbruch sind riffbildende Gesteine durch die angeschnittenen Flächen der Wand besonders eindrucksvoll aufgeschlossen. Wenngleich dieser Punkt in einigen Exkursionsführern behandelt wird (HUBMANN et al., 2003; PERRI & SPALLETTA, 1998; SCHÖNLAUB et al., 2004; VENTURINI & SPALLETTA, 1998) liegen keine detaillierten Arbeiten zur Riffökologie und Diagenese vor.

Mittels Untersuchungen an Conodonten wurde versucht das Alter der Ablagerungen exakter zu erfassen. Diesbezüglich laufen Arbeiten von Thomas SUTTNER (Universität Graz).

1.3 Topographie der Karnischen Alpen

Die Karnischen Alpen befinden sich im Grenzgebiet zwischen Süd-Österreich und Nord-Italien. Sie erstrecken sich auf einer Länge von ca. 140 km in West-Ost Richtung von Sillian in Osttirol bis Arnoldstein in Kärnten. Von der Gailitzer Furche getrennt schließen sich die Karawanken im Osten an die Karnischen Alpen an. Das Periadriatische Lineament trennt das Paläozoikum im Süden vom Gailtalkristallin im Norden und zugleich trennt es das Südalpin vom Ostalpin (SCHÖNLAUB, 1979).

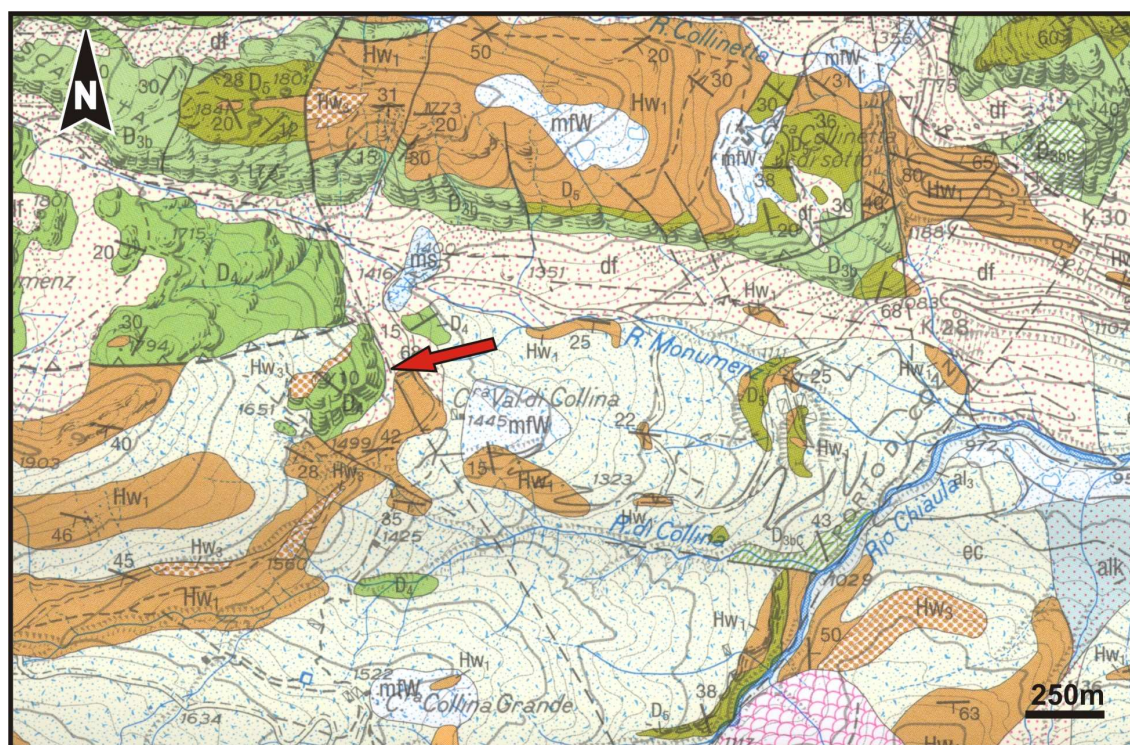
Die Karnischen Alpen bestehen fast ausschließlich aus paläozoischen Gesteinen. Für das Devon sind Riffgesteine bzw. riffnahe Ablagerungen charakteristisch. Durch die variszische- und alpidische Tektonik sind diese häufig in jüngere (karbonische) und ältere (silurische) Tongesteine eingefaltet (FRECH, 1894).

1.4 Geographische Gebietsbeschreibung

Das Arbeitsgebiet liegt auf 1520 Meter Seehöhe auf italienischem Staatsgebiet der Karnischen Alpen, 1,5 km westlich des Plöckenpasses (Abb. 2). Die Koordinaten sind $46^{\circ}35'50''$ N und $12^{\circ}55'30''$ E.

Der Aufschluss ist am Trail 149 Richtung Refugio Marinelli gelegen, welcher direkt an den geschnittenen Blöcken vorbeiführt.

Der Steinbruch ist über den Plöckenpass (Via Nazionale, Ss 52 Bis) erreichbar; auf einer Höhe von 1107 m zweigt man von der Via Nazionale auf eine Schotterstraße ab, die Strada Romana. Mit einem geländegängigen Auto ist der Aufschluss nach einigen Kilometern zu erreichen. Ausgehend von der ehemaligen Grenzstation Plöckenpass erreicht man über die Trails 148 und 161 (diese münden anschließend in den Trail 149) das Arbeitsgebiet zu Fuß.



Hw1 Hochwipfel-Formation

D4 Plattformkarbonate

D5 Goniatitische Kalkstein

D3b Proximale Übergangszone

Abbildung 2: Geologische Übersichtskarte. Der Pfeil gibt die Position des ehemaligen Steinbruchs an. Ausschnitt aus VENTURINI et al. (2002). Maßstab 1:25 000.

1.5 Arbeitsmethodik

Die Blöcke Co/01a, Co/01b, Co/03 und Co/02 wurden fotografisch erfasst, wobei nur letzterer als Arbeitsgrundlage diente. Der Block wurde mit Aufnahmen in der Größe von 20 x 30 cm mit Hilfe einer Schablone (Abb. 3) stückweise abgelichtet. Die einzelnen Bilder



Abbildung 3: Beispiel einer Schablone mit der Größe 20 x 30 cm.

wurden zusammengefügt und damit konnte die Blockoberseite als Ganzes dargestellt werden. Die

Gesteinsoberfläche wurde zuerst mit verdünnter Salzsäure gereinigt um den Flechtenbewuchs zu entfernen. Um einen besseren Kontrast herzustellen, wurde die Oberfläche befeuchtet. Danach wurde die Fläche fotografiert und die Bilder am Computer zu einem Gesamtoberflächenbild zusammengefügt. Aus dieser Darstellung kann die Faunenverteilung und die Schichtzugehörigkeit in einen Zusammenhang gebracht werden.

Weiters wurden Transparentfolien auf eine Art und Weise auf den Block aufgebracht, um die aussagekräftigsten Schichten zu dokumentieren. Die Organismen und Schichtverläufe wurden von der Gesteinsoberfläche auf die Folie mit unterschiedlicher Farbsignatur durchgezeichnet. In einem weiteren Schritt wurden die Folien A, B und C digitalisiert und mit dem Computerprogramm Analysis (von: *Soft Imaging System*; <http://www.soft-imaging.net>) bearbeitet, um die jeweilige prozentuelle Verteilung des Modalbestandes zu bestimmen.

Weiters wurde die Verteilung der Organismen in den einzelnen Lagen mit dem Punktzählverfahren (vgl. FLÜGEL, 1978) ermittelt: Über die maßstabsgetreu digitalisierten Folien wird ein Raster von 1 cm Maschenweite gelegt (Abb. 4) und mittels eines halbautomatischen Point-Counters (swift) wird jeder Rasterpunkt abgelesen und halbautomatisch (mit Tastendruck) der zugehörigen Fraktion zugewiesen. Liegt ein Schnittpunkt der Masche auf einer Komponente oder der „Grundmasse“, gilt dies als ein Treffer. Als Ergebnis können die Trefferpunkte oder der prozentuelle Anteil der Komponenten abgelesen werden. Werden diese Werte nun in Prozentwerte umgewandelt entstehen Rundungsfehler. Die Fehlerhäufigkeit ist bei niedrigen Prozentsätzen höher als bei hohen Prozentsätzen. Die Standardabweichung (vgl. CHAYES, 1956) für die Häufigkeitsverteilung der Organismen ($\text{Organismen} = 100 * \sqrt{(p(1-p)/n)}$) kann aus den beiden Tabellen (siehe Kapitel: 4.2 Quantifizierung nach dem Punktzählverfahren) errechnet werden.

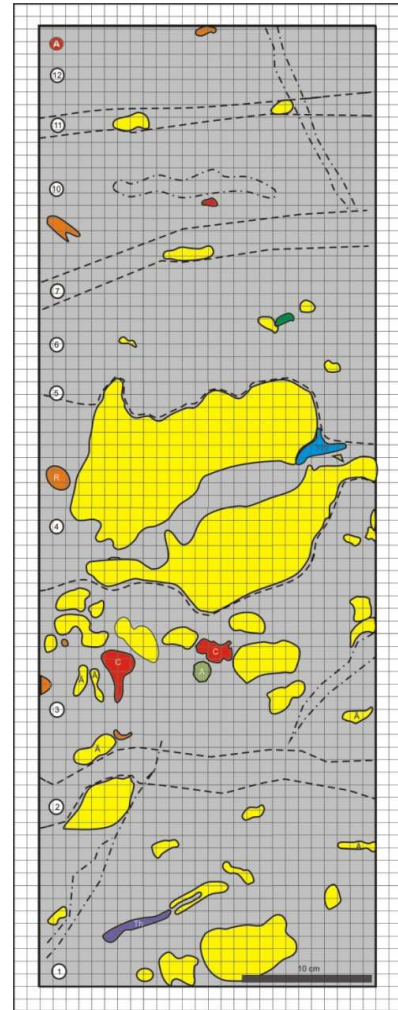


Abbildung 4: Beispiel für eine Folie mit Raster 1 x 1 cm.

Aus Hangschuttstücken und Blockproben wurden 61 Dünnschliffe in unterschiedlichen Formaten, hauptsächlich aber im Format 4 x 4 cm gefertigt. Sie dienten der mikrofaziellen Untersuchung und als Grundlage für Kathodenlumineszenz-Analysen an Zementen.

Die Untersuchung der Zemente erfolgte mit dem Kathodenlumineszenzgerät CITL, CCL 8200 Mk3 des Geozentrums der Universität Wien. Als Proben wurden jene Gesteinsanschnitte herangezogen, die auch für die mikrofazielle Untersuchung verwendet wurden. Bei den Kathodenlumineszenzuntersuchungen wurden die Dünnschliffe auf einem Schlitten befestigt und in einer Kammer unter Vakuum mit Elektronen mittels einer kalten „Elektronen-Kanone“ beschossen. Die Kathode fungiert als Elektronenquelle und schießt die Elektronen auf die Probe. Ideale Lumineszenz-Eigenschaften werden unter Aufrechterhaltung des Vakuums bei individueller Regulation der Spannung (zwischen 300-360 kV) und der Stromstärke (zwischen 15 – 20 mA) erzeugt. Kalzitkristalle enthalten Mn und Fe. Das Lumineszenzverhalten wird durch das Verhältnis von Mn zu Fe bestimmt (HEMMING et al., 1989). Wobei Mn^{2+} als Aktivator-Ion wirkt und die Lumineszenz steigert und Fe^{2+} als Dämpfer-Ion fungiert und die Lumineszenz vermindert (RICHTER & ZINKERNAGEL, 1981). Wachstumsgenerationen von Zementen bzw. Zuwachssäume werden in der Kathodenlumineszenz in Rot, Orange oder Gelb sichtbar. Die Farbnuancen der Kalzitkristalle werden von Autoren unterschiedlich beschrieben: Orange-Rot (SMITH & STENSSTROM, 1965), Gelb-Orange (MARTIN & ZEEGERS, 1969) und Orange (SIPPEL & GLOVER, 1965).

2 GEOLOGIE DER KARNISCHEN ALPEN

2.1 Paläozoische Schichtfolgen

Die paläozoische Abfolge lässt sich in einen „Unterbau“ (Oberordovizium bis Unterkarbon) und in einen „Oberbau“ (Oberkarbon bis Oberes Perm) gliedern. Die variszische Gebirgsbildung trennt den „Unterbau“ vom „Oberbau“ (SCHÖNLAUB & HUBMANN 2002).

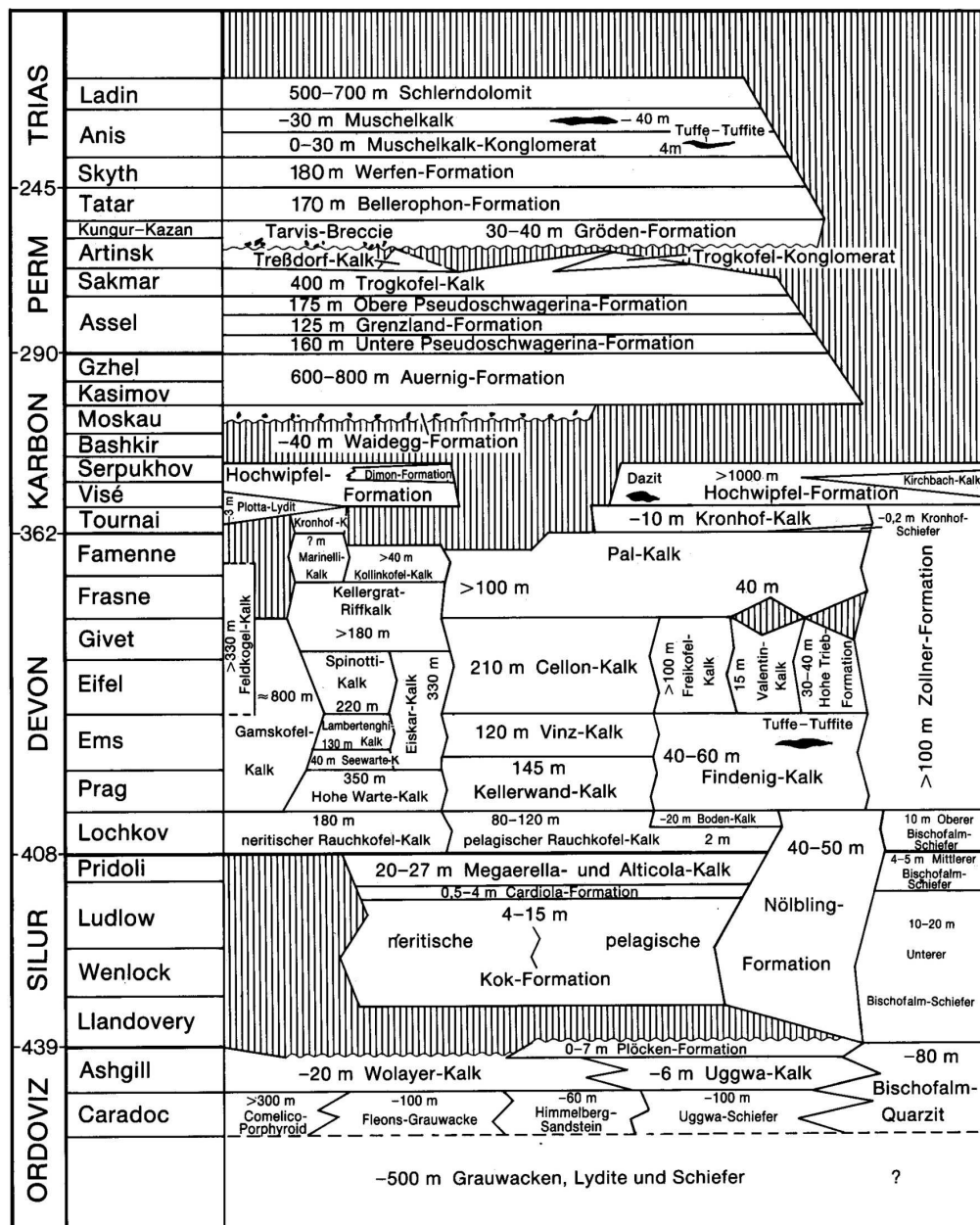


Abbildung 5: Stratigraphische Tabelle der Karnischen Alpen nach SCHÖNLAUB (1985) mit lithostratigraphischer Neugliederung des Devons nach KREUTZER (1992a).

Ordovizium

Im Sandbium/Katium (entspricht Caradocium in Abb. 5) dominierten feinsiliziklastische Ablagerungen. Die Himmelberg-Fazies fasst Quarzite, Grauwacken und sandige Tonsteine zusammen, die lithostratigraphisch in Fleons-Grauwacken, Himmelberg-Sandstein, Uggwa-Schiefer und Bischofsalm-Quarzit untergliedert werden. Die Uggwa-Fazies wird von graugrünen, kalkigen Ton/Mergelsteinen dominiert. Die Fleons-Grauwacke weist vulkanoklastischen Einfluss auf und nimmt von Ost nach West an Mächtigkeit zu (SCHÖNLAUB, 1985). Ab dem Hirnantium (entspricht Ashgillium in Abb. 5) beginnt vermehrt die Karbonatbildung hauptsächlich mit Cystoideen und Bryozoen. Diese Ablagerungen wurden als Wolayer Kalke mit einer Mächtigkeiten von maximal 20 Meter zusammengefasst. Überlagert werden diese Karbonate von den Uggwa Kalken, welche küstenferner entstanden sind und eine dementsprechend geringere Mächtigkeit aufweisen. Am Ende des Ordoviziums sank der Meeresspiegel und es entstanden gröberklastische Sedimente (Plöcken-Formation).

Silur

Das transgressive Silur setzt in unterschiedlichen Profilen heterochron ein. Faziell lassen sich folgende Bereiche unterscheiden: a) die neritische Wolayer-Fazies, b) die etwas tiefermarine Plöckenfazies, c) die im Slope-Bereich sedimentierte Finding-Fazies und d) die Bischofalm-Fazies, die das euxinische Becken repräsentiert (SCHÖNLAUB et al., 2004). Die neritische Kok-Formation enthält reichliche Vorkommen von Nautiliden, Trilobiten, Brachiopoden und Bivalven, in „ammonitico-rosso“-Entwicklung. Darauf folgen die Cardiola-Formation und die Cephalopoden-führenden Alticola-Kalke. Die Nölbing-Formation besteht aus dunklen Karbonaten und Mergel mit schwarzen Graptolithen-Schiefern. Die untere Bischofalm-Fazies ist charakterisiert durch schwarze, die mittlere Bischofalm-Fazies durch ihre grün-grauen feinklastischen Gesteinsfolgen.

Devon

Im Devon entstehen Flachwasser-Kalke von bis zu 1000 m Mächtigkeit (südliche Flachwasser-Fazies der Kellerwanddecke). Weiters ist das Devon von einer Faziesheteropie geprägt, wobei unterschiedliche Ablagerungsräume, unabhängig von der Fazies zeitgleich nebeneinander vorkommen. Es treten unter anderem Riffschuttkalke, instabile Flankensedimente und Cephalopodenkalke nebeneinander auf (SCHÖNLAUB, 1979). Die devonischen Sedimente gliedern sich in Flachwasserareale, Lagunen und dazwischen liegende Becken. Im Unterdevon stellt sich eine Flachwasserfazies ein. Diese bleibt vom Ende des Lochkoviums bis ins Frasnium stabil. Im Norden der Karnischen Alpen entstehen typische Sedimente der pelagischen Zone (Rauchkofel, Hoher Trieb). Südlich davon schließen Riffsedimente an (Kellerspitzen, Hohe Warte). Weiters kommen Sedimente der Gezeitenzone (Biegengebirge, Gamskofel) im südlichsten Teil der Gebirgskette vor. Vergleicht man den flachmarinen Rauchkofel-Kalk mit einer Mächtigkeit von 180 m mit den dazugehörigen pelagischen Ablagerungen des Boden-Kalks mit 20 m Mächtigkeit, fällt die enorme Produktivität der Flachwasserfazies auf. Im Frasnium nimmt das Korallenwachstum ab, jedoch das Stromatoporenwachstum zu. In dieser Zeit, „ertrinken“ auch die Karbonatplattformen. Kurz danach „ertrinken“ die Riffe (untere *gigas*-Zone). Riffkarbonate werden von syntektonischen Lithoklast-Brekzien und Mikriten des Framenniums überlagert. Die Gesteine des Framenniums werden ihrerseits von unterkarbonischen, geringmächtigen Cephalopodenkalken überlagert (SCHÖNLAUB & HUBMANN, 2002).

Nach KREUTZER (1992a, 1992b) kann das Devon der Karnischen Alpen in 5 Faziesräume eingeteilt werden.

- a) Eine südliche Flachwasserfazies mit einer Rückrifffazies an der unteren Kellerwand, Hohen Warte, Biegengebirge und einer Gezeitenfazies am Biegengebirge und Gamskofel. Die Riff- und Riffschuttfazies ist an der unteren Kellerwand und der Hohen Warte zu finden.
- b) Übergangsfazies der Cellondecke.
- c) Rauchkofelfazies.
- d) Bischofsalmfazies.
- e) Nördliche Flachwasserfazies der Feldkogeldecke.

Karbon

Die Hochwipfel-Formation und die Dimon-Formation (auf italienischem Staatsgebiet) fassen mit Mächtigkeiten von 600 – 1000 m variszische Flyschabfolgen zusammen. Sie bestehen aus Turbiditen, kieseligen Mudstones, Debris-Flows und Brekzien (SCHÖNLAUB & HISTON, 2000). Die Kirchbachkalke sind in die Hochwipfel-Formation linsenförmig eingeschaltet. Die Kronhofkalke sind vor allem im Unterkarbon vertreten und kommen nur lokal im Kronhofgraben vor.

Perm

Das Perm ist im südalpinen Raum mit einer Mächtigkeit von ca. 1000 m deutlich ausgeprägter als im Ostalpin. Die Schichtfolgen des Asellium lassen sich zu den Rattendorfer Schichten zusammenfassen. Die 160 m mächtigen Unteren Pseudoschwagerinenschichten entstanden in küstennahen Innenschelfbereichen. Die 125 m mächtige konglomeratische bis feinsandige Grenzland-Formation überlagert diese Schichten und wird als küstennahe Ablagerung gedeutet. Darüber folgt die 175 m mächtige Obere Pseudoschwagerinen-Formation. Die hochdiversen Faunenelemente lassen auf einen Außenschelfbereich schließen. Das mittlere Perm wird von den 400 m mächtigen hellen Trogkofelkarbonaten dominiert. Durch plattentektonische Veränderungen („saalische Phase“) zerbrachen im Mittelperm die Karbonatplattformen und es kam zu regionalen Brekzienbildungen (Traviser-Brekzie). Darüber folgt die rot gefärbte bis zu 40 m mächtige Gröden-Formation, die von Sandsteinen dominiert wird, untergeordnet aus Ton- und Siltsteinen besteht und Dolomitlagen und -knollen beinhaltet (SCHÖNLAUB & HUBMANN, 2002). Die 170 m mächtigen Bellerophon-Schichten bestehen aus Evaporiten und bituminösen Dolomiten und schließen das Perm ab.

2.2 Paläozoische Riffstrukturen in Österreich

Das österreichische Paläozoikum weist zahlreiche Riffstrukturen auf. Eine Auswahl bezogen auf die unterschiedlichen Einheiten wird in Abb. 6 dargestellt.

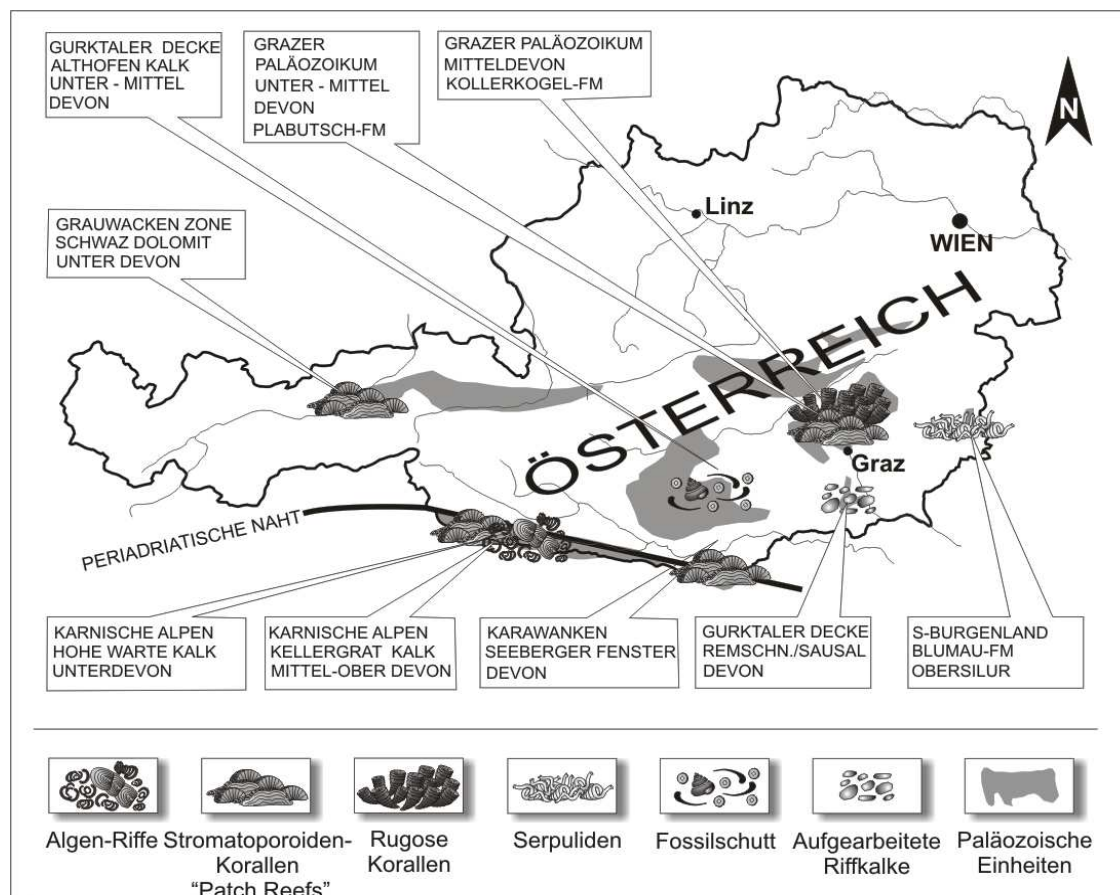


Abbildung 6: Überblickskarte von Paläozoischen „Riffstrukturen“ aus Österreich. Verändert nach HUBMANN & SUTTNER (2007).

Erläuterung von Riffstrukturen der Grauwackenzone, der Karnischen Alpen, der Karawanken, der Gurktaler Alpen, des Grazer Paläozoikums und des südlichen Burgenlandes.

Grauwackenzone

- | | |
|-------------------------|---|
| Schwarz-Kalk (Dolomit): | Unteres bis mittleres Devon; Erzführende Kalke. |
| Triebenstein-Formation: | Unteres Karbon; Die 300 m mächtige Formation besteht aus einzelnen „Patch Reefs.“ |

Karnische Alpen

Gamskogel-Kalk:	Unteres bis mittleres Devon (Emsium-Givetium); Algenlaminit im Wechsel mit Amphiporenkalk und Loferit.
Hohe Warte-Kalk:	Unteres Devon (Pragium); Crinoidenschutt-Kalk mit „Patch-reefs“.
Spinotti-Kalk:	Mittleres Devon (Eifelium, Givetium); Birdseye-Kalk mit Crinoidenschutt- und Amphiporenkalken.
Kellerwand-Kalk:	Unteres Devon (Pragium, Emsium); gelber Tentakulitenkalk mit organodetritischen Zwischenschichten.
Kellergrat-Kalk:	Unteres bis mittleres Devon (Pragium-Givetium); massiger Riffkalk.

Karawanken

Seeberg-Kalk:	Unteres bis oberes Devon; reich an Korallen und Crinoidenresten.
---------------	--

Gurktaler Decke

Althofen-Kalk:	Mittleres Devon (Oberes Eifelium); Biogenschuttkalke.
----------------	---

Grazer Paläozoikum

Kollerkogel-Formation:	Mittleres Devon (Givetium-Frasnium); <i>Stachyodes</i> -patch reefs.
Plabutsch-Formation:	Unteres bis mittleres Devon (Eifelium); dunkelblaue bis schwärzliche, fossilführende Kalke; biostromale Strukturen.
Hochlantsch-Formation:	Oberes Devon; „Patch-Reefs“.
Osser-Formation:	Mittleres Devon; blaugraue, helle Flaserkalke mit Dolomiten und Tonschiefer einschaltungen.

Flösselkogel-Formation: Unteres Devon; Amphiporen-Mounds.

Süd-Burgenland

Blumau-Formation: Oberes Silur bis unteres Devon-Grenzbereich;
„Dolomit-Kalkkomplex“ (POLLACK, 1962).

2.3 Kellergrat-Formation

Zur Kellergrat-Formation werden massige Riffkalke des jüngeren Givetium bis Frasnium zusammengefasst, welche eine Mächtigkeit von >180 m aufweisen (KREUTZER, 1992a). Davon fallen nach KREUTZER (1992b) etwa 150 m in das Givetium, während der Rest (30 m) Frasnium-Alter hat. Das Kellergratriff erstreckt sich von den Gipfeln der Kellerspitze im Westen bis zum Kollinkofel im Osten. Die typische Riff-Fazies besteht aus Stromatoporen und Korallen und untergeordnet aus Brachiopoden, Gastropoden, Echinodermen und Calcisphaeren (KREUTZER, 1990). Die givetische Fauna ist geringdivers, aber individuenreich (KREUTZER, 1992a). An den Korallen listen OEKENTORP-KÜSTER & OEKENTORP (1992) folgende Taxa auf: *Alaiophyllum jarushevski*, *Dendrostella trigemme*, *Grypophyllum* sp., *Battersbyia* sp., *Stringophyllum* sp. A, *Disphyllum* sp., ?*Cyathophyllum* sp., *Temnophyllum* cf. *latum*, sowie *Favosites* sp.

3 KARBONATPLATTFORMEN

Karbonatplattformen sind kalkige, durch benthische Organismen „erbaute“ Gesteinskörper im Meer, welche sich über ihrer Umgebung erheben (WILSON, 1975). Sie kommen in warmen subtropischen bis tropischen flachmarinen Gewässern vor. Beispiele für rezente Karbonatplattformen stellen das „Great Barrier Reef“ und die Bahama-Bank dar.

3.1 Riffdefinition

Der Begriff „Riff“ wird von SCHUMACHER (1976) folgendermaßen definiert: *„Ein Riff ist eine maßgeblich von lebenden Organismen aufgebaute, meist bankförmige Struktur, die vom Meeresboden bis zur Wasseroberfläche reicht und so groß ist, dass sie erheblich die physikalischen und damit auch ökologischen Einheiten ihrer Umgebung beeinflusst. Ihre Konsistenz ist hinreichend fest, den anbrandenden Wasserkräften zu widerstehen und damit einen vieljährigen, charakteristisch gegliederten Raum für spezifisch angepasste Bewohner zu bilden.“*

Weiters geht der Begriff „Riff“ auf die traditionelle Seefahrtssprache zurück und ist ein beschreibender Ausdruck für alle Untiefen, völlig unabhängig von ihrer Entstehung, an denen ein Schiff zu Schaden kommen kann.

Es gibt unterschiedliche Ansätze ein Riff erdwissenschaftlich zu definieren. Einen ausführlichen Überblick über den Begriff „Riff“ gibt RIDING (2002). Der Begriff „carbonate buildup“ wurde von HECKEL (1974) definiert. Diese Karbonateinheit ragt über das bestehende Sedimente empor und unterscheidet sich von den umgebenen zeitgleichen Karbonaten.

3.1.1 Morphologische Grundtypen

Ein Riff wird durch kalkabscheidende, benthische Organismen und durch die syngenetische Sedimentfüllung der Gerüsthohlräume sowie die zumeist rasch einsetzende Zementation der Poren Hohlräume gebildet. Sowohl die Füllung der Hohlräume durch feinkörniges Sediment (Karbonatschlamm = Mikrit), als auch die Zementation der Hohlräume durch Karbonatübersättigte Porenwässer (= Sparit) findet synchron mit dem Wachstum statt.

Ein Riff durchläuft grundsätzlich vom Aufbau bis zur Lithifizierung folgende Phasen:

- 1) Riffwachstum durch gerüstbildende Korallen und Schwämme, Sediment-fangende Organismen und Verfüllungen von Hohlräumen.
- 2) Riffzerstörung durch mechanische Einwirkung von Wellen, starker Strömung und Stürme, sowie durch Bioerosion verursacht von Bohrorganismen (u.a. Würmer, Muscheln).
- 3) Sedimentation von feinen und groben Komponenten zu einem Gesteinskörper.
- 4) Zementation im Bereich der Wellenzirkulation.

Man unterscheidet im Allgemeinen zwei Grundtypen von Riffen, Bioherme, die eine deutlich vertikale Wachstumskomponente aufweisen und die eher flächig entwickelten Biostrome (CUMINGS, 1932). RIEGL & PILLER (2000) verwenden die Begriffe „coral carpet“ für „Niedrigreliefstrukturen“ und „reef“ für deutlich „dreidimensionalere“ Formen.

a) Biostrome sind flächige Riffkörper. Sie „wachsen“ vor allem in die Breite und sind daher „lagig“. Mit der Klassifikation von Biostromen setzt sich KERSHAW (1994) intensiv auseinander. Um paläontologische Interpretationen auf eine einheitliche Basis zu stellen, unterschied er einzelne Grundtypen von Biostromen, deren Unterscheidungskriterium die Autochtonie/Allochtonie der organismischen Komponenten darstellt: Organismen die sich vor Ort befinden, weisen einen autobiotromen Charakter auf und sind Baffle-, Bind-, oder Framestones. Allobiotrome werden aus autochthonen Materialien gebildet und sind Float-, Grain-, Mud-, Pack-, Rud- oder Wackestones. Die Mächtigkeit der Biostrome ist entweder „dünn“ (0,1 – 0,5 m) oder „dick“ (2,0 – 5,0 m).

b) Bioherme sind massige, örtlich linsenförmige Strukturen, die eine deutlich vertikale Ausprägung haben und die von Gesteinen anderen Typs (Fazies) umgeben sind.

c) Unter „Mound“ versteht man hügelige Riffstrukturen. Mud Mounds (MONTY, 1976) sind Riffsysteme, die in verschiedenen Wassertiefen auftreten können, daher auch vom Licht nicht abhängig sein müssen. Sie bestehen hauptsächlich aus feinkörnigem Kalk, Gerüstbildner sind nicht primär am Aufbau beteiligt, können jedoch in geeigneten Wassertiefen einen Teil dieser Mud Mounds ausmachen (REITNER & NEUWEILER, 1997). Einerseits können Mud Mounds durch Seegrass und Algenvorkommen im Flachwasser entstehen, wobei feinkörniges Sediment „eingefangen“ wird (GINSBURG & LOWENSTAM, 1958), jedoch ist die fossile Überlieferung derart entstandener Strukturen gering. Andererseits bilden Mikroorganismen feinkörnige Sedimente (Peloide, stromatolitische Laminite), welche frühdiagenetisch zementieren und somit besseres Fossilisationspotential aufweisen. Organismen mit geringerem Lichtbedarf können auf diese Strukturen aufwachsen. Riff Mounds sind Strukturen aus nicht miteinander verbundenen bioklastischen Komponenten, größtenteils aus feinkörnigem Riffschutt, der durch bohrende Organismen und durch die abrasive Wirkung der Wellen entstanden ist.

3.1.2 Geographische Grundtypen

Nach geographischer Lage, flächenhafter Ausdehnung und Architektur lassen sich vier Grundtypen von Riffbauten unterscheiden (vgl. OTT, 1996; Abb. 7).

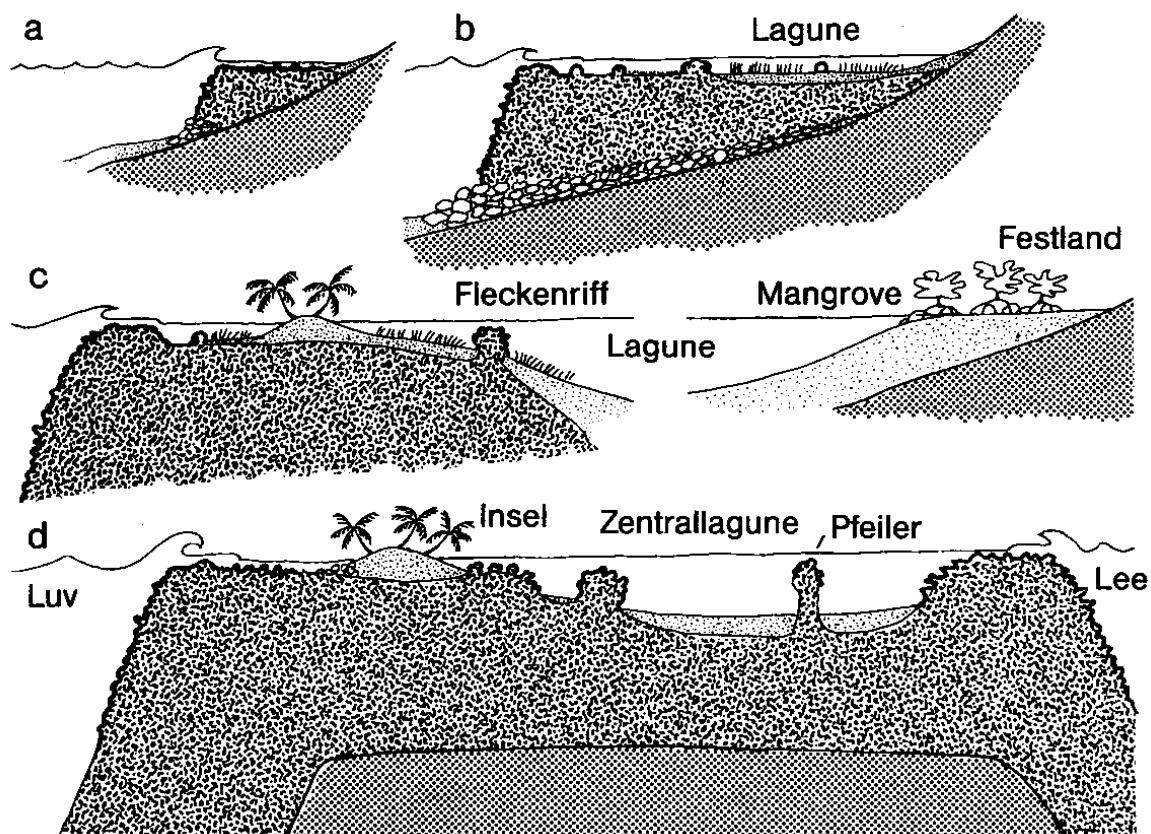


Abbildung 7: Riffotypen nach OTT (1996). (a) Saumriff (b) Lagunensaumriff (c) Barriereriff mit Inseln, seichten Seegraswiesen und Fleckenriffen im Rückriffbereich. (d) Atoll das einer ozeanischen Insel oder einem Seamount aufgewachsen ist.

1. **Barriereriffe** trennen einen Ruhigwasserbereich (Lagune) mit einer Tiefe von 30 – 70 m vom Ozean ab. Sie entstehen meist 10 bis 50 km vor der Küste und wachsen auf Sedimentböden. Ein rezentes Beispiel wäre das „Great Barrier Reef“ vor der Küste Ostaustraliens.
2. **Saumriffe** wachsen direkt vor der Küstenlinie der Kontinente und Inseln auf Harts substrat. Sie wachsen seewärts vor und verwenden die entstehenden Schutthalden als Untergrund für ein weiteres Vorwachsen. Durch Bioerosion

bildet sich ein Flachwasserbereich mit Sedimentböden an der Küste zugewandten Seite (Lagune). Das Saumriff kann sich zu einem Lagunensaumriff umwandeln. Dieser Riffotyp ist häufig für viele westindische Inseln.

3. **Plattformriffe** sind von tiefem Wasser umgeben und landfern auf unterseeischen Rücken entstanden. Im Ruhigwasserbereich, welcher in der Mitte liegt, können sich Lagunen bilden. Ein Beispiel dafür wäre das „Glover Reef“ vor Belize.
4. **Atolle** sind offen marine Riffe auf vulkanischem Untergrund. Im Zentrum der Atolle liegt meistens eine Lagune (30 – 80 m tief). Luvseits wächst das Riff, Leeseits wird es durch Bioerosion abgebaut. Charles Darwin stellte 1842 seine Theorie über die Entstehung von Atollen vor. Diese basiert auf der Annahme, dass aktive Vulkane (Hot Spots) durch das Weiterdriften der Platten abkühlen und dadurch alte Vulkane absinken; die ursprünglichen Saumriffe um die Vulkane entwickeln sich durch das „catch up“ zu Atollen (BRÜMMER & LEINFELDER, 1998).

3.2 Moderne Riffe versus fossile Riffe

Riffe sind vor allem in subtropischen – tropischen Gewässern beheimatet. Dort haben sie die größte Verbreitung („Dichte“) und größte Diversität. Im Laufe der Erdgeschichte änderten sich die Verbreitungsmuster jener Bereiche, an denen Riffe wachsen können. Steuernde Faktoren dafür sind Änderungen des Klimas, der Ozeanographie und auch Kontinentalverschiebungen.

Fossile Riffe überliefern geowissenschaftliche Daten. Zählt man die Cyanobakterienbauten zu den Riffen, dann entwickelten sich bereits vor etwa 2 Milliarden Jahren Riffe. Die Stromatholiten waren im Präkambrium und bis zur Kambrischen Explosion Hauptriffbildner. Ab dem mittleren Kambrium bis zum Ende des Devon, in der Trias und am Ende des Jura gehörten die Kalk- und Kieselschwämme zu den häufigsten Riff-Organismen. Korallen gehören zu den prominentesten Riffbildnern in der Erdgeschichte, wobei die Baupläne und die Häufigkeit variieren.

In Abb. 8 werden die Zeitabschnitte des Phanerozoikums in Bezug auf die Häufigkeit von Riff-Bildungen und organische Zusammensetzung der Riffbildner dargestellt. Mud Mounds sind übliche Strukturen des Paläozoikums und des Mesozoikums und haben rezent an Bedeutung verloren. Rezent und im Devon treten Riffe und Riff-Mounds häufig auf. Die Korallenfauna im Devon unterscheidet sich wesentlich von der modernen durch die, kalzitische Skelett bildenden, tabulaten und rugosen Korallen. Tabulata sind Koloniebildner mit sehr formenreichen Kolonien, Rugosa kommen häufig solitär vor, bilden aber auch Kolonien. Vertreter beider Korallen-Ordnungen konnten jedoch nicht sehr große und variable Kolonie-Formen entwickeln, wie dies bei den rezenten Scleractinia möglich ist. Die Riff fauna des Devon beinhaltet weiters Stromatoporen, Crinoiden, verkalkende Cyanobakterien (u.a. *Renalcis*), und verkalkende Algen (vgl. WOOD, 1999). FAGERSTROM (1987) teilt die Riff-bezogenen Organismen in fünf Gilden ein. Die „Constructor-Gilde“ charakterisiert sich durch ihren hohen volumetrischen Anteil im Riff und durch ihre gerüstbildenden Organismen (rugose und tabulate Korallen). Die „Binder-Gilde“ wächst lateral und parallel zum Sediment (z.B.: Rotalgen, Bryozoen). Die „Dweller-Gilde“ zeichnet sich durch hohe Diversität aus, „weidet“ die Riffe ab oder lebt als „Strudler“ (Mollusken, Echinodermen). Vertreter der „Baffler-Gilde“ setzen die Strömungsgeschwindigkeit herab und „fangen“ das Sediment (Bryozoen, Rotalgen). Die meisten Organismen der „Destroyer-Gilde“ sind nektisch oder bentisch, jedoch kommen sie auch infaunal oder sessil vor und bohren bzw. „raspeln“ Rifforganismen an (Bivalven, Gastropoden, Bakterien). Jedoch sind nur die Constructor-, die Baffler- und die Binder Gilde am Riffaufbau beteiligt (FAGERSTROM, 1994). In rezenten Riffen dominieren Korallen der Ordnung Scleractinia (Steinkorallen), Kalkalgen, Hydrozoen und Bryozoen (BRÜMMER et al., 1997).

Faktoren, die Riffe zerstören, haben sich von fossilen Riffen zu modernen Riffen kaum verändert, wurden jedoch um den Faktor „Menschlicher Einfluss“ erweitert.

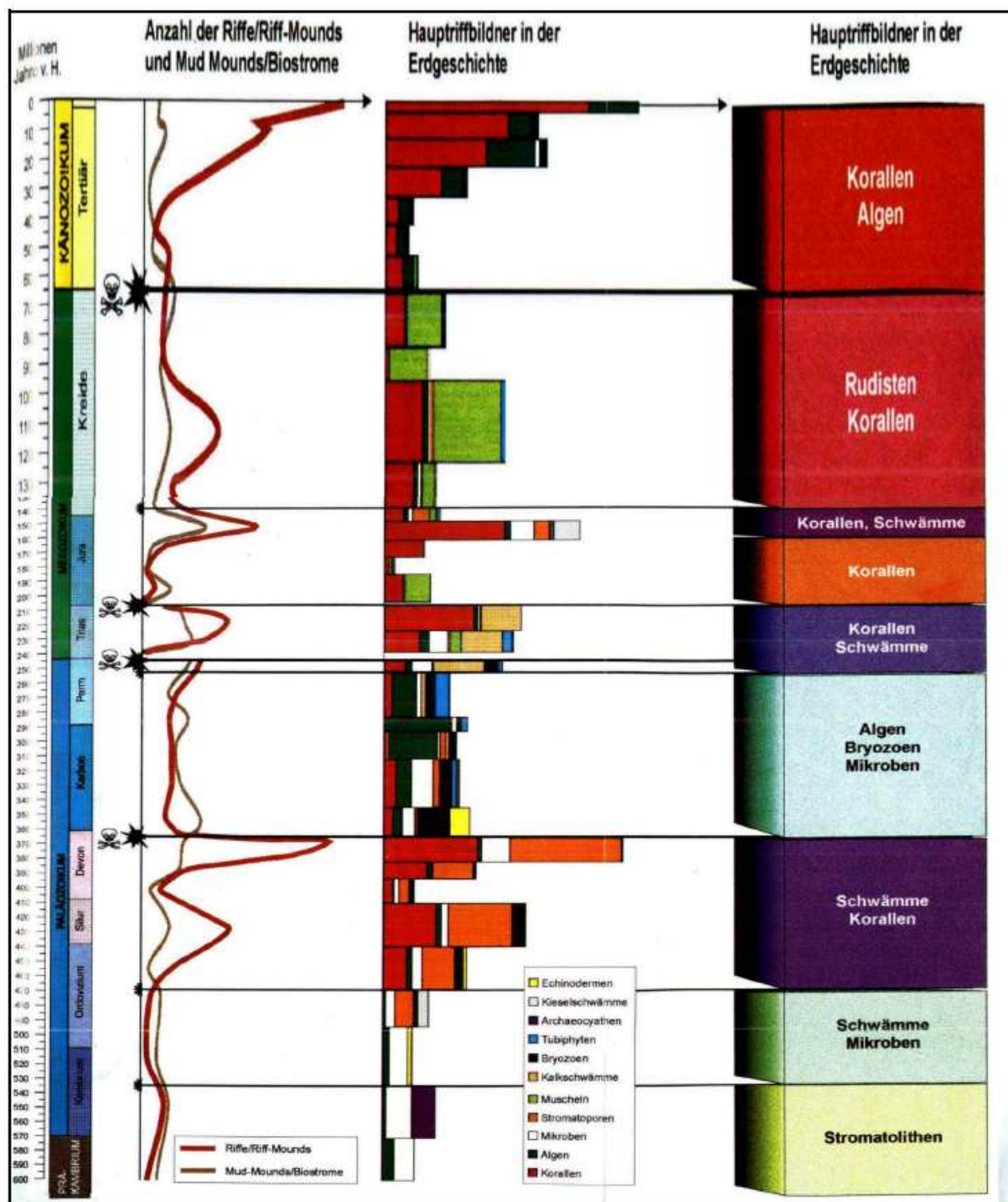


Abbildung 8: Haupttriffbildner in der Erdgeschichte (FLÜGEL, 1997). Einschnitte im Riffwachstum werden durch Sternchen gekennzeichnet, Totenköpfe markieren Massenaussterbe-Ereignisse.

3.3 Devonischer Rifftypus

3.3.1 Riffzonierung

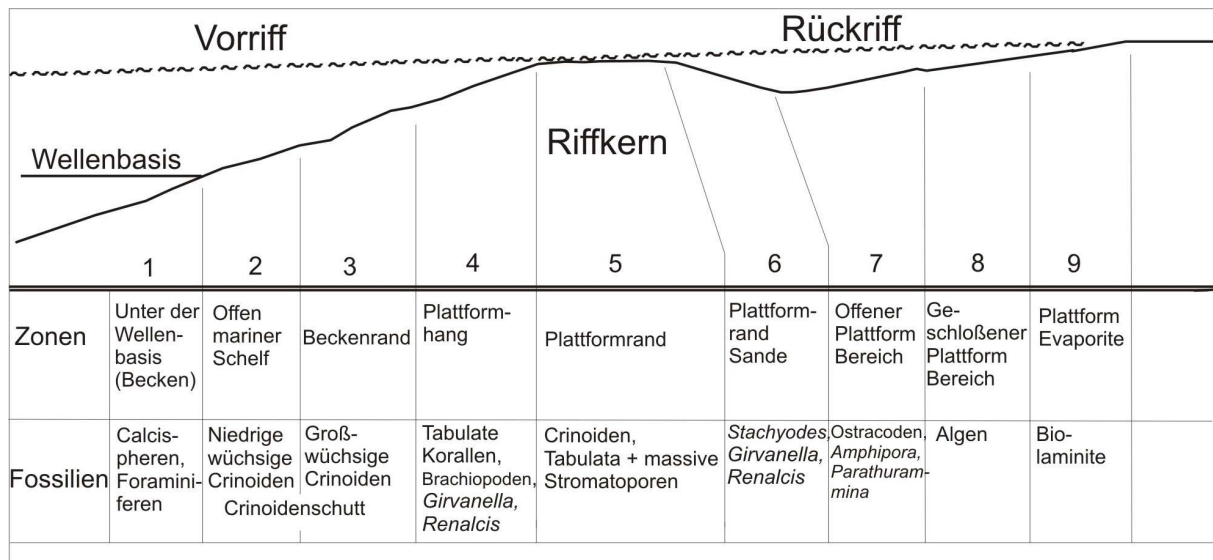


Abbildung 9: Verteilung der Standardmikrofaziestypen (SMF). Verändertes Fazieschema nach WILSON (1975).

Folgende Beschreibung nimmt auf die in Abb. 9 gegebene Verteilung der SMF nach WILSON (1975) Bezug.

Vorriff

Als Vorriff bezeichnet man den Übergangsbereich vom Riffhang in das offene Meer. Er weist eine hohe Diversität an Organismen auf und liegt an der Strömung zugewandten Seite. Der Riffhang kann mit unterschiedlicher Neigung in das Meeresbecken abfallen.

Zu den typischen Faziesfossilien des devonischen Vorriffbereiches gehören Crinoiden, Cephalopoden und Tentakuliten.

- 1) Der Beckenbereich beheimatet nektische und planktische Organismen in unterschiedlichen Häufigkeiten.
- 2) Der offenmarine Schelf wird von Epi- und Endofaunen belebt. Weiters ist eine hochdiverse Schalenfauna vertreten.
- 3) Der Beckenrand weist umgelagerte, flachmarine Bioklasten auf.
- 4) Der Plattformhang ist geprägt durch tabulate Korallen, Brachiopoden, Crinoiden sowie *Stachyodes* (ästige Stromatoporen). Zusätzlich kommen verkalkende Cyanobakterien, wie *Renalcis* und *Girvanella* vor.

Riffkern

Ist der Zentralbereich eines Riffsystems welcher sich wiederum in Riffkamm, Riffkern i. e. S. und Riffebene unterteilen lässt.

a) Riffkamm (Reef Crest Zone)

Ist der höchste Teil des Riffsystems und ist den Wellen am stärksten ausgesetzt. Mikrofaziell treten häufig Bindestones bis Framestones auf. Der Riffkammbereich wird durch häufiges Stromatoporenwachstum charakterisiert.

b) Riffkern i. e. S. (Reef Framework Zone)

Erstreckt sich von der Wellenbrechungszone bis zu einer maximalen Tiefe von 100 Meter und ist durch ausgeprägtes Korallenwachstum gekennzeichnet. Optimales Korallenwachstum tritt jedoch nur bis zu einer Tiefe von 30 Meter auf, da hier die besten Lichtverhältnisse vorherrschen.

Mikrofaziell typisch sind Framestones, Bafflestones und Wackestones.

c) Riffebene (Reef Flat Zone)

Ist die flache Ebene der Brandung abgewandten Seite. Die Wassertiefen betragen bis zu 2 Meter. Sie bestehen im Allgemeinen aus einer fast reinen Schutzzone mit niedriger Individuenzahl der Organismen.

- 5) Auf dem Plattformrand befinden sich typische gerüstbildende Organismen, welche zur Riffbildung beitragen.

Rückriff

Das Rückriff weist eingeschränkte Wasserzirkulation auf; Karbonatschlammablagerungen sind für diesen Bereich charakteristisch. In den Lagunen häufen sich Bioklasten an, stellenweise können sich auch kleine Riffareale, so genannte „Patch Reefs“, bilden.

- 6) Am Plattformrand akkumuliert benthisches Schuttmaterial (z.B.: Schalen) aus den Regionen des Beckenrandes und Plattformhanges. Autochthone Organismen kommen sehr selten vor.
- 7) Der offene Plattformbereich weist häufig Krustenbildung durch Kalkalgen auf, die sedimentstabilisierend wirken. Es können lokale Riffe (patch reefs) vorkommen, welche durch hochdiverse Faunen-Vergesellschaftungen charakterisiert sind.
- 8) Der geschlossene Plattformbereich weist geringe Organismendiversität auf und enthält hauptsächlich Gastropoden, Ostrakoden, Algen und spezialisierte Foraminiferen.
- 9) Die Plattform-Evaporite sind im Allgemeinen fossilfrei, können aber Strukturen von Biomatten (Cyanobakterien) aufweisen.

3.4 Die bathymetrischen Stufen

In den 60/70er Jahren unternahm man den Versuch Riff-assoziierte Ablagerungen, gültig für den Ardennen-Raum nach „Energie Typen“ zu gliedern.

Diese „Energie Typen“ umgelegt auf Tiefenstufen wurden von LECOMPTE (1970) definiert, welche auf Riffe und die umgebenden Räume im Mitteldevon angewandt wurden. Folgt man dieser Einteilung lassen sich für devonische Riffkomplexe folgende Faziesbereiche abgrenzen:

- 1) Turbulente Zone: In dieser Zone treten Stromatoporen mit massiven Wuchsformen auf. In geringerer Anzahl findet man hier massige tabulate und rugose Korallen, sowie ästige Stromatoporen und ästige Tabulata. Vereinzelt findet man auch Crinoiden und Brachiopoden.

- 2) **Bewegtwasserzone:** Es sind hier hauptsächlich lagige Stromatoporen, lagige und ästige Tabulata, rugose Korallen und Brachiopoden vertreten.
- 3) **Ruhigwasserzone:** Dominierend sind Tabulata mit lagigen Kolonieförmungen, rugose Korallen und in geringer Artendiversität kommen auch lagige Stromatoporen, ästige Tabulata, Bryozoen, Crinoiden und Stromatactis-Strukturen vor.
- 4) **Stillwasserzone:** Die durch Tonschlamm dominierten Sedimente enthalten Brachiopoden, Bryozoen und Einzelkorallen.
- 5) **Tiefwasserzone:** Diese Zone kann gänzlich fossilfrei sein oder im Idealfall kleinwüchsige Cephalopoden (Goniatiten) und wenige Brachiopodenarten enthalten. Lithologisch ist dieser Bereich durch schwarze, pyritführende Kalke und Kalkschiefer charakterisiert.
- 6) **Sublagunäre Zone:** Riffbildende Organismen können aufgrund ungünstiger autökologischer Bedingungen nicht überleben. Diese Zone wird daher durch eine meist vollkommen fossilfreie Mudstone-Fazies charakterisiert.
- 7) **Lagunäre Zone:** Dieser Bereich ist weitgehend vom Meer abgeschnitten und war während seiner Bildung dem Festland direkt angeschlossen. Eine Ausnahme stellen Atolle mit lagunären Bereichen im Zentrum dar. Häufig treten hier lagige Stromatolithe, feinkörnige Dolomite und Evaporite auf.

3.5 Physikalische Limitation

Meeresspiegelschwankungen, Wassertemperaturänderungen, Plattentektonische Veränderungen sind Auslöser dafür, dass Riffökosysteme in Raum und Zeit in unterschiedlicher Dominanz vorhanden sind (vgl. FLÜGEL, 1997; KERSHAW, 1998; Abb. 8).

3.5.1 Hochenergieereignisse

Rezente Riffe sind häufig Zerstörungen durch Sturmereignisse ausgesetzt. Dies begründet sich vor allem darin, dass Riffe ihre Verbreitung in jenen Gebieten haben, in denen tropische Wirbelstürme gehäuft auftreten. Fossile Riffablagerungen gleichen daher in den überwiegenden Fällen einem „Schutthaufen“ von unterschiedlichen Organismen; riffbildende Organismen in Lebendstellung stellen eher die Ausnahme als die Regel dar. Der durch Sturmereignisse entstandene Riffschutt wird auf lithologisch ältere, ähnlich entstandene Ablagerungen abgesetzt und es entsteht eine geschichtete Abfolge. Rezenten Beobachtungen zufolge können Sturmwellen Riffkorallen bis etwa 25 m Tiefe zerstören (SCOFFIN, 1993).

Sedimentologisch äußern sich Sturmereignisse in Form von speziellen Ablagerungsfolgen, den Tempestiten (AGER, 1974). Sie lassen sich als Resedimente bereits sedimentierter Ablagerungen zum Teil aus unterschiedlichen Faziesbereichen charakterisieren. Häufig weisen Tempestitablagerungen eine erosive Basis auf, über den Fossilschutt, anschließend Hummocky- sowie planar geschichtete Partien mit geringer Partikelgröße folgen. Mikrofaziell sind Tempestitlagen durch Packstones, Rudstones und dicht bepakte Grainstones gekennzeichnet. Anhäufung von Crinoidenbruchstücken lassen den Kalkstein oft dunkel erscheinen.

3.5.2 Hydrodynamik

Die unterschiedlichen Strömungskräfte, die auf Sedimentpartikel einwirken wurden von PLUMLEY et al. (1962) herangezogen um 5 Energieklassen von gering turbulentem Wasser (Typ I) bis zu hoch turbulentem Wasser (Typ V) zu unterscheiden:

Typ I: Geringe Turbulenz kennzeichnet relativ reine Karbonate (Komponenten in der Sandfraktion < 15%), bei Subtyp I-2 (organismenfrei) und I-3 (mit Organismen). Subtyp I-1 ist gekennzeichnet durch deutlich höhere Anteile von Karbonatpartikeln in Tonfraktion (Karbonatschlamm). Organismen treten individuenreich, aber in geringer Spezieshäufigkeit auf. Die organismischen Hartteile sind nicht transportiert worden, daher nicht gerundet und nicht zerbrochen.

Typ II: Ablagerungen mit mikrokristalliner Kalzitmatrix. Subtyp II-1 (fein bis mittlere Korngrößen) und II-2 (grobkörnig) weisen teilweise eckig bis runde Komponenten auf. Bei Subtyp II-3 wechseln sich Lagen aus Mikrit mit gröberen klastischen Partikeln ab. Die Karbonatpartikel in Sandkornfraktion sind unter 15%, der Organismenanteil höher als in Typ I.

Typ III: Ablagerungen mit feinen Karbonatpartikeln in Sand- bis Schlucksandfraktion. Subtyp III-1 ähnelt einem Kalksiltstein, Subtyp III-2 einem sehr feinkörnigen Kalkarenit und Subtyp III-3 einem feinkörnigen Kalkarenit. Typ III ist nicht oder spärlich fossilführend (III-1; III-2) kann aber reich an Fossilien sein (III-3).

Typ IV: Vorkommen von mittelgroßem bis sehr grobkörnigem Kalkarenit und schlecht sortierter Matrix. Es gibt drei Subtypen, welche sich in der Korngröße unterscheiden, und durch den Transport zerbrochene und abgeflachte Fossilien enthalten. Subtyp IV -1, IV-2, IV-3 definiert Karbonate mit mittel-, grob- und sehr grobkörnigen Partikeln.

Typ V: Hoch turbulentes Wasser mit grobkörnigen Gesteinsfragmenten. Subtyp V-1 wenig- bis gerundete Gesteins- und Organismenkomponenten. Subtyp V-2 ist ein Konglomerat bzw. eine Breccie. Subtyp V-3 ist mit einem Riffkalk zu vergleichen, welcher gerüstbildende Organismen enthält.

3.5.3 Riffschuttproblematik

(A) Grober Riffschutt:

Der grobe Riffschutt im untersuchten Fall setzt sich aus Korallen und Stromatoporen und deren Bruchstücken zusammen. Riffschutt wird vom Ort der Erosion in andere Riffbereiche transportiert und kann während des Transportes intakte Riffbildner und sessile Organismen zerstören. Bei erheblicher Zerstörung von Riffarealen kann es zu einem „phase shift“ (RASSER & RIEGL, 2002) kommen, welcher sich durch einen Wechsel der Hauptriffbildner an diesen Standorten charakterisiert. Dabei ist entscheidend wie schnell sich ein Organismus im Vergleich zu den anderen regeneriert und die Neubesiedlung dominiert. Für die Stromatoporen dürfte gelten, dass sie im Jugendstadium eine höhere Wachstumsrate aufgewiesen haben als im adulten Stadium (LUCZYNSKI, 2003). Durch ihr schnelles Wachstum, auch gegenüber anderer Rifforganismen (z.B.: tabulaten Korallen) dürften sie bei der Neubesiedlung einen Vorteil gehabt haben.

(B) Feiner Riffschutt:

Der feine Riffschutt setzt sich vor allem aus Crinoidenfragmenten unterschiedlicher Komponentengröße zusammen und wird in der folgenden Behandlung der einzelnen Faziestypen in der makroskopischen Beschreibung als „Grundmasse“ klassifiziert. Crinoidenfragmente können Aufschluss über die Transportweite und die Intensität des Transportes geben (vgl. RUHRMANN, 1971a). Crinoiden lebten vorallem in tieferen Regionen als die übliche Riffauna. Sie wurden daher seltener, durch physikalische Einflüsse (Wasserbewegung) zerstört. Bei niedrig energetischer Aufbereitung zerfällt der Organismus in seine einzelnen Platten und wird über

Schweb- und Springtransport befördert. Bei hochenergetischer Aufbereitung (Schüttungen) werden die Seelilienreste zu feinkörnigem Debris zermahlen (RUHRMANN, 1971a; Tab. 1).

Zudem kann die Einbettung der Crinoiden am Ort des Todes stattfinden, wobei starke Wellenbewegung nicht zum Tod geführt haben kann, da es sonst eine Verfrachtung gegeben hätte. Nach einer gewissen Zeitspanne zerfällt das Skelett in seine Einzelteile und die Elemente werden nach ihrer Größe sortiert. Es bleiben hauptsächlich die Stiele in Kalken erhalten (RUHRMANN, 1971b).

Transportweiten	Transportart	Fazies
Geringe Transportweite	Wenig bis kein Transport	Wurzeln im sedimentären Verband; vollständige Kelche; lange Stielabschnitte
Mittlere Transportweite	Spring- , Schwebtransport	Einzelne Trochiten; kurze Stielabschnitte; isolierte Kelchplatten
Höhere Transportweite	Schüttung	Feiner Crinoidenschutt, zerbrochen

Tabelle 1: Genetisches Modell für Ablagerungen die durch Crinoiden-Partikel dominiert werden. Verändert nach RUHRMANN 1971a.

3.6 Paläogeographie im Givetium

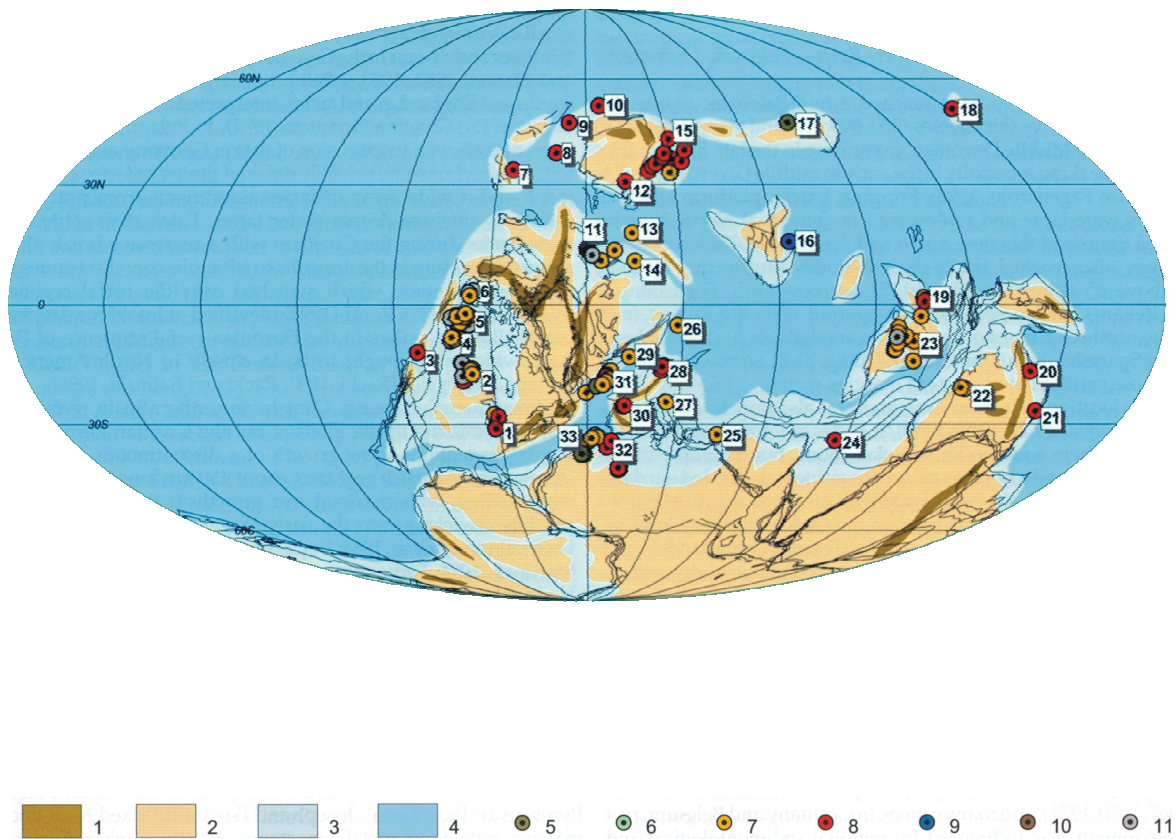


Abbildung 10: Globale Verbreitung von Riffen im späten Mitteldevon (Givetium) nach COPPER (2002). 1 = Gebirge; 2 = Landmasse; 3 = Schelfbereich; 4 = Ozean; 5 = Mikroben Riffe; 6 = Algen Riffe; 7 = Stromatoporiden Riffe; 8 = Korallen Riffe; 9 = Bryozoen Riffe; 10 = Serpuliden Riffe; 11 = nicht definiert.

Das Givetium stellt einen Zeitabschnitt der beständigen Transgression im Euramerikanischen Raum (JOHNSON et al., 1985) dar. In diesem Raum findet dies unter anderem seinen Ausdruck darin, dass der feinsiliziklastische Input aus dem Old-Red-Hinterland zu Gunsten einer forcierten karbonatischen Entwicklung verschwindet. Es kommt vermehrt zur „Massenkalkentwicklung“. Der generelle transgressive Trend des Givetiums führte zu vermehrten Riffbildungen (vgl. COPPER, 2002). Im geographischen Breitenintervall zwischen dem nördlichen und südlichen Wendekreis dominierten Korallen- und Stromatoporenriffe. Durch die klimatischen Bedingungen im Givetium reichten Korallenriffe auf der Nordhalbkugel bis zu einer Breite von 55° (reichliches Vorkommen im heutigen nördlichen

Russland), auf der Südhalbkugel bis zu einer Breite von 40°. Die von KREUTZER (1992a) für die Karnischen Alpen entwickelte eustatische Meeresspiegelkurve zeigt nahezu identischen Verlauf im Mitteldevon im Vergleich mit jenen für den Euramerikanischen Bereich (JOHNSON et al., 1985). Mit diesem Meeresspiegelanstieg stellte sich synchron ein vermehrtes Aufkommen riffbildender Organismen ein. Die Karnischen Alpen befanden sich zu dieser Zeit auf der Südhalbkugel (Abb. 10: Nr.: 27) in der Nähe des südlichen Wendekreises in der tropischen Zone (SCHÖNLAUB, 1992). Als Hauptriffbildner treten Stromatoporen auf; Mikroberriffe sind im Givetium kaum vertreten.

4 ERGEBNISSE

4.1 Berechnung mit *Analysis*

Foliennummer	„Grundmasse“ und Crinoidenschutt [%]	Stromatoporen [%]	Rugose Korallen [%]	Chaetetiden [%]	Alveoliten [%]	Favositen [%]	Helioliten [%]	Thamnoporen [%]	Brachiopoden [%]	Zement [%]	Rundungsfehler [%]
A	75,93	15,24	1,72	3,22	0,75	0,46	k.v.	1,2	k.v.	1,48	0
B	85,8	7,77	1,29	0,74	1,06	1,24	k.v.	k.v.	k.v.	2,09	0,08
C	58,14	26,79	1,95	5,07	1,05	k.v.	0,19	1,16	0,23	4,39	1,03
Ges.	73,29	16,59	1,65	3	0,95	0,57	0,06	0,79	0,08	2,65	0,37

Tabelle 2: Prozentueller Anteil der Organismen auf Folie A, B, C mit *Analysis*. Kein Vorkommen (k.v.).

Wie in Kapitel 1.5 erwähnt, wurden für die quantitative Auswertung der Organismen Transparentfolien im Gelände angefertigt (siehe Abb. 13). In Folie A und B dominieren die „Grundmasse“ und Crinoidenschutt mit 2/3 des „Flächen“-Anteils. In Folie C beträgt die „Grundmasse“ ca. 60 %, der Rest wird von zerbrochenen Bioklasten eingenommen. Gesamt betrachtet stehen die „Grundmasse“ und die Zemente mit ca. 75% den Stromatoporen mit ca. 17% und den Korallen mit 7% gegenüber (Tab. 2). In dieser Arbeit wird unter der „Grundmasse“ neben dem Mikrit- und Sparitvorkommen auch der Anteil an Biogenen unter 5 mm Partikelgröße verstanden. Die Aufnahme von Biogenkomponenten einer bestimmten Korngröße in die „Grundmasse“ ergab sich durch die im Gelände durchgeführte Datenerhebung durch die Folien. Die kleinsten noch zeichenbaren Organismen stellten daher das Kriterium der Zuweisung zur Kategorie der Komponenten dar, während die in ihrer Dimension nicht fassbaren Organismen der „Grundmasse“ zugeordnet wurden. Untersuchungen an Dünnschliffen ergänzen das Bild von dem Aufbau der

„Grundmasse“. Sie besteht durchschnittlich aus 34% Mikrit und Sparit und aus 66% Biogenen unter 5 mm Größe. Die Biogene teilen sich in etwa 94 % Crinoiden, 4% ästige Stromatoporen und 2% ästige tabulate Korallen auf.

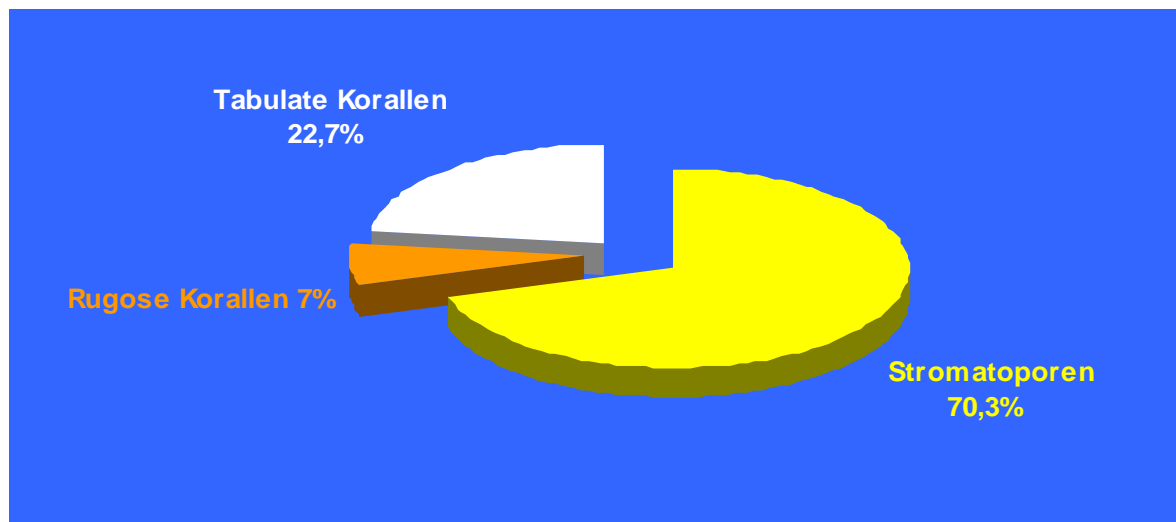


Abbildung 11: Prozentuelles Verhältnis der Cnidaria und Porifera unter Ausschluss der „Grundmasse“.

Vernachlässigt man die Crinoidenfraktion, sowie vereinzelte Brachiopoden und beschränkt sich auf Organismenfragmente > 1 cm, wird die Dominanz der Schwämme gegenüber den Korallen deutlich (Abb.11). Das Vorkommen der Stromatoporen beläuft sich auf 2/3 der gesamt erfassten Organismen, der Rest entfällt auf die Korallenfauna. Der Großteil (3/4) der Korallen entfällt auf tabulate Taxa. Die Riffauna weist folgende prozentuelle Verteilung auf: 70, 3 % Stromatoporen, 7 % rugose Korallen, 22,7 % tabulate Korallen (12,9 % Chaetetiden, 3,5 % Alveoliten, 3,4% Thamnoporen, 2,5 % Favositen, 0,4 % Helioliten).

4.2 Quantifizierung nach dem Punktzählverfahren

Als Maschenweite wurde 1 cm gewählt, damit jene Komponenten mit 1x1 cm Größe (kleinste Komponentengrößen) auch in die Statistik einfließen können. In Tabelle 3 ist die Trefferhäufigkeit und in Tabelle 4 der prozentuelle Anteil der Organismen dargestellt.

Schichtnummer	„Grundmasse“ und Crinoidenschutt	Stromatoporen	Rugose Korallen	Chaetetiden	Alveoliten	Favositen	Helioliten	Thamnoporen	Brachiopoden	Zement	Gesamte „Treffer“
1	310	68						5			383
2	57										57
3	265	80	4	11	2						362
4	100	229	4							4	337
5											n.d.
6	262	8				1					271
7	56	4									60
8											n.d.
9	21										21
10	403	14	4	4							425
11	58	8									66
12	309	6	3								318
13	66										66
14	327	98	5		9						439
15	108	34	1			14					157
16	511	31	6		4					35	587
17											n.d.
18	67	8	3		1						79
19	170	51									221
20											n.d.
21	990	679	25	81	2	8	2	10	3	22	1822
22											n.d.

Tabelle 3: Urliste der Point-Counter Zählung. Die Werte stehen für die „Treffer“ der Organismen und der Grundmasse.

n.d.: nicht dokumentierte Schichten.

Schichtnummer	„Grundmasse“ und Crinoidenschutt [%]	Stromatoporen [%]	Rugose Korallen [%]	Chaetetiden [%]	Alveoliten [%]	Favositen [%]	Helioliten [%]	Thamnoporen [%]	Brachiopoden [%]	Zement [%]	Rundungsfehler [%]
1	81,40	17,40						1,20			0,2
2	100,00										0
3	73,20	22,00	1,10	3,00	0,50						0,2
4	29,6	67,9	1,1							1,1	0,4
5											n.d.
6	96,6	2,9				0,3					0,2
7	93,3	6,6									0,1
8											n.d.
9	100										0
10	94,8	3,2	0,9	0,9							0,2
11	87,8	12,1									0,1
12	97,1	1,8	0,9								0,2
13	100										0
14	74,4	22,3	1,1		2						0,2
15	68,7	21,6	0,6			8,9					0,2
16	87	5,2	1		0,6					5,9	0,3
17											n.d.
18	84,8	10,1	3,7		1,2						0,2
19	76,9	23									0,1
20											n.d.
21	54,3	37,2	1,3	4,4	0,1	0,4	0,1	0,5	0,1	1,2	0,4
22											n.d.

Tabelle 4: Prozentuelle Anteile der Organismen, ermittelt nach dem Point-Counter Verfahren.

n.d.: nicht dokumentierte Schichten.

In Tabelle 4 wird in der rechten Spalte der Rundungsfehler angegeben. Mittels eines halbautomatischen Point-Counters („swift“) wurden die Prozentwerte der einzelnen Komponenten auf ganze Zahlen gerundet. In jeder Schicht sind mehr „Grundmasse“ als Organismenanteile vorhanden. Ausgenommen davon ist die Schicht 4, da diese von großen Stromatoporen dominiert wird.

4.3 Mikrofazies

Die Mikrofazies wird als die Gesamtheit der im Dünnschliffbereich erkennbaren sedimentpetrographischen und paläontologischen Merkmale definiert (FLÜGEL, 1978). Für die vorliegende Arbeit kamen 61 Dünnschliffe zur Untersuchung, wobei 54 Dünnschliffe aus Handstücken und 7 Dünnschliffe aus dem Block entnommen wurden. In Tabelle 5 werden die Proben des Blockes Co/02 mit den typisierbaren Merkmalen dargestellt und in Tabelle 6 werden die Hangschuttstücke mit den 26 Standard Mikrofaziestypen (SMF-Typen) nach WILSON (1975) verglichen.

4.3.1 Mikrofaziestabellen

Block Co/02

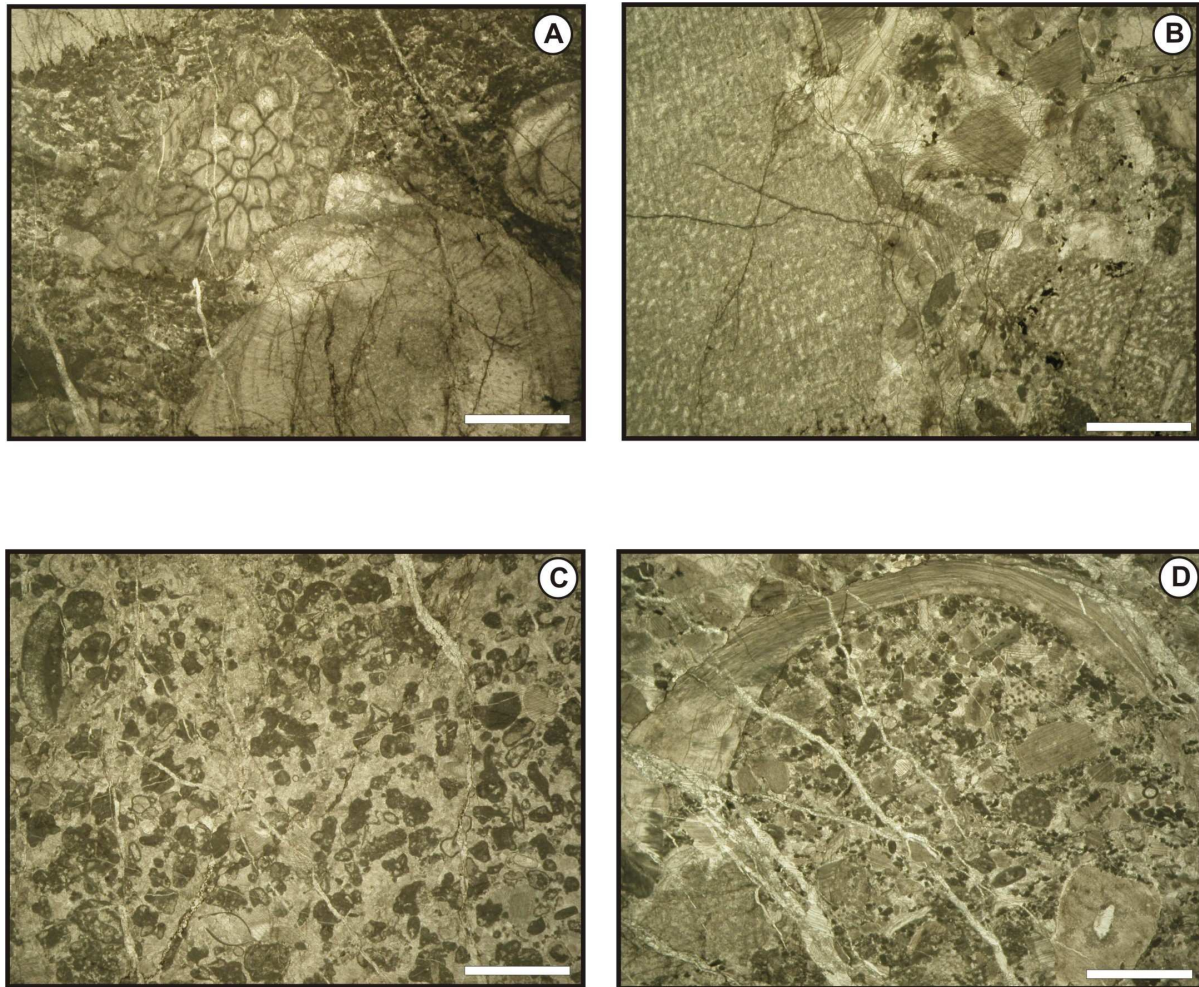
Block	Mächtigkeit (cm)	Banknummer	Probennummer	SMF	Mikrofazies	Stromatoporen	Chaetetiden	Alveoliten	Caunoporen	Favositen	Thamnoporen	Helioliten	Rugose Korallen	Brachiopoden	Zement
2	35	22	Co/02/22	11	C	X								X	
	72	21	-												
	(5-0)	20	-												
	44	19	-												
	(5-0)	18	-												
	20	17	-												
	(8-20)	16	-												
	(1-12)	15	-												
	(6-8)	14	Co/02/14	11	C										X
	12	13	Co/02/13	12	D	X									X
	(3-0)	12	-												
	(1-0-1)	11	-												
	(12-0)	10	-												
	(2-3)	9	-												
	(10-5)	8	Co/02/08	5	A										X
	(2-3)	7	-												
	(18-10)	6	-												
	(1-0)	5	-												
	(6-17)	4	-												
	17	3	Co/02/02- Co/02/03	12	D	X									X
	2	2	Co/02/02- Co/02/03	12	D										X
	20	1	Co/02/01	12	D										X

Tabelle 5: Auswertung der Proben aus dem Block Co/02. Darstellung der MF-Typen im Vergleich mit den SMF-Typen.

Probennummer	SMF	Mikrofazies	Stromatoporen	Chaetetiden	Alveoliten	Caunoporen	Favositen	Thamnoporen	Helioliten	Rugose Korallen	Brachiopoden	Zement
Co/33	12	D										
Co/34	6	B									X	X
Co/35	-											
Co/36	-											
Co/37	-											
Co/38	5	A	X				X					
Co/39	12	D										X
Co/40	12	D			X			X				
Co/41	12	D						X				
Co/42	12	D			X							
Co/43	12	D	X							X		
Co/44	11	C	X									X
CoHs_1a	12	D		X						X		X
CoHs_1b	12	D						X		X		
CoHs_2b	12	D	X									
CoHs_2c	12	D	X					X				
CoHs_03	12	D	X							X		
CoHs_04	12	D	X					X		X	X	
CoHs_05	5	A					X					
CoHs_6a	5	A	X				X					
CoHs_6b	5	A					X	X		X	X	
CoHs_7a	12	D	X							X		
CoHs_7b	12	D	X							X		
CoHs_8a	12	D	X							X	X	
CoHs_8b	12	D	X							X		
CoHs_9a	11	C		X						X		
CoHs_9b	11	C										
CoHs_9c	11	C										
CoHs_10	5	A	X			X						

Tabelle 6: Auswertung der Proben aus dem Hangschutt. Darstellung der MF-Typen im Vergleich mit den SMF-Typen.

4.3.2 Einteilung der Mikrofaziestypen



Tafel 1: Mikrofazies. A: Stromatoporen-Korallen-Float/Rudstone. B: Stromatoporen-Korallen-Rudstone. C: Grainstone mit umrindeten Bioklasten. D: Bioklastischer Rudstone mit Crinoidenanhäufung.

A: Stromatoporen-Korallen-Float/Rudstone

Riff-Flankenfazies: Wenig disartikulierte Korallen und Stromatoporen in feinkörnigem Sediment.

B: Stromatoporen-Korallen-Rudstone

Vorriffbereich: mit Schutt aus dem Riff: Im Allgemeinen hoch energetischer Bereich mit großen Stromatoporen-Klasten und zerbrochenen Korallenkolonien. Wenig oder keine Matrixanteile.

C: Grainstones mit umrindeten Bioklasten

Entstanden in Bereichen konstanter Wellenbewegung (oberhalb der normalen Wellenbasis). Herkunft vermutlich aus dem Lagunenbereich.

D: Bioklastischer Rudstone mit Crinoidenanhäufung

Entstanden im Hangbereich und am Schelfrand.

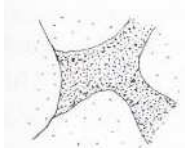
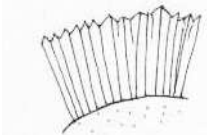
Die Mikrofaziestypen im Block Co/02 (Taf. 1) lassen sich im Vergleich mit den SMF-Typen nach WILSON (1975) mit den Typen 5, 6 und 11, 12 in den Bereich Plattformhang- und in Riff- oder Plattformrandfazies eingliedern.


4.4 Kathodenlumineszenz und Zementstratigraphie

Die Methode der Kathodenlumineszenz wurde erstmals erfolgreich von SIPPEL & GLOVER (1965) und SMITH & STENSSTROM (1965) in den Karbonatgesteinuntersuchungen angewandt.

4.4.1 Zementtypen

Mit der Zementation geht eine Verfestigung des Sedimentes und eine Verringerung der Porosität des Gesteines einher (PRESS & SIEVER, 1995). Riffe sind durch fibröse Aragonitzemente, mikritische Mg-Kalzite sowie grobe drusige Zemente charakterisiert (FLÜGEL, 1978). Die aktivste Zementation findet im Vorriffbereich (PLAYFORD, 1980) und an der Seeseite der Riffe statt (FÜCHTBAUER, 1988). Zemente können unter marinen (Salzwasser) oder meteorischen Einflüssen (Süßwasser) gebildet werden. Bei der Zementbildung kann der phreatische (über dem Grundwasserspiegel) oder der vados (unter dem Grundwasserspiegel) Bildungsprozess unterschieden werden. Zusätzlich können Zemente während der Versenkungsmetamorphose (vgl. FLÜGEL, 2004) gebildet werden. Die Diageneseeinflüsse von marinen Kalken werden in absteigender Diageneseintensität folgendermaßen gereiht: meteorisch-phreatisch, meteorisch-vados, marin-vados und marin-phreatisch (FÜCHTBAUER, 1988).

Zementtypen	Eigenschaften der Zemente
Mikritzemente 	Füllen Poren und Zwischenräume mit rhombischen Kristallen und umkleiden auch Komponenten.
Radial faserige Zemente (faserig) 	Kristalle wachsen normal auf das Substrat, sind nadelförmig oder säulenartig. Können unter anderem Rindenzemente mit Kristallen gleicher Länge bilden. Länge zu Breite: 6:1. Diagenese: Marin- und meteorisch-vados.

Zementtypen	Eigenschaften der Zemente
<p>Radial faserige Zemente (nadelförmig)</p> 	<p>Kristalle wachsen normal auf das Substrat und sind nadelförmig. Können Rindenzemente mit Kristallen gleicher Länge bilden. Länge zu Breite: 10:1. Diagenese: Marin-phreatisch.</p>
<p>Radial faserige Zemente (blättrig)</p> 	<p>Langgestreckte Zemente etwas breiter als faserige Formen mit einem Längenverhältnis 1,5:1, bis zu einem Verhältnis von 6:1. Diagenese: Marin phreatisch und marin-vados.</p>
<p>Radial faserige Zemente (Radiaxial faseriger Zement)</p> 	<p>Ungleiche, trübe Kristalle mit einem Längenverhältnis von 1:3 bis 1:10. Bilden oft Rindenzemente. Diagenese: Marin-phreatisch und bei der Versenkungsmetamorphose.</p>
<p>Radial faserige Zemente (Hundezahn-zement)</p> 	<p>Ungleichschenkelig oder rhombische Form; wächst normal und subnormal zum Sediment. Es handelt sich um einen frühgebildeten Zement. Diagenese: Marin-phreatisch, hydrothermal und meteorisch, aber auch bei der Versenkungsmetamorphose.</p>
<p>Radial faserige Zemente (traubenförmig-halbkugelig)</p> 	<p>Porenfüllender Zement mit einem Größenbereich von Millimetern bis Zentimetern; halbkugelförmig. Diagenese: hauptsächlich marin, aber auch bei der Versenkungsmetamorphose.</p>
<p>Isometrische Zemente (granular)</p> 	<p>Entweder umhüllend oder porenfüllend mit kleinen Kristallen. Können aus vorher vorhandenen Zementen durch Rekristallisation neu entstehen. Diagenese: Meteorisch-vados, meteorisch-phreatisch und bei der Versenkungs-metamorphose.</p>

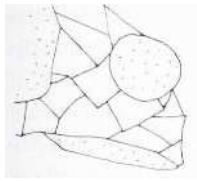
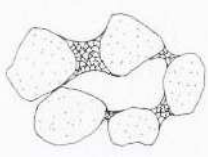


Zementtypen	Eigenschaften der Zemente
<p>Isometrische Zemente (blockig)</p> 	<p>Wenn größere Poren vorhanden sind, schließt dieser Zement an granulare Formen an. Kristallgrößen von mittel- bis grobkörnig und charakteristisch mit unterschiedlichen Größen. Diagenese: Meteorisch-vados, meteorisch-phreatisch und bei der Versenkungsmetamorphose.</p>
<p>Meniskuszemente</p> 	<p>Meniskusartig oder Korn-an-Korn Kontakt in nicht vollständig wasserfüllenden Poren. Diagenese: Meteorisch-vados, meteorisch-phreatisch und marin-vados.</p>
<p>Drusige Zemente</p> 	<p>Porenfüllender Zement in intergranularen und intraskelatalen Poren. Größe der Kalzitkristalle ist normalerweise > 10 µm. Diagenese: Meteorisch und bei der Versenkungsmetamorphose.</p>
<p>Syntaxiale Rindenzemente</p> 	<p>Normalerweise Wachstum von einem Kristall bzw. von einer Komponente (z.B.: Echinodermenelemente) aus.</p>
<p>Vadose Zemente</p>	<p>Mikrokristalliner Zement mit inter- oder supratidalem Bildungsort (AISSAOUI & PURSER, 1983).</p>

Tabelle 7: Zementtypenklassifizierung nach FLÜGEL (1978, 2004) und FÜCHTBAUER (1988).

4.5 Stratigraphie

4.5.1 Lithologie

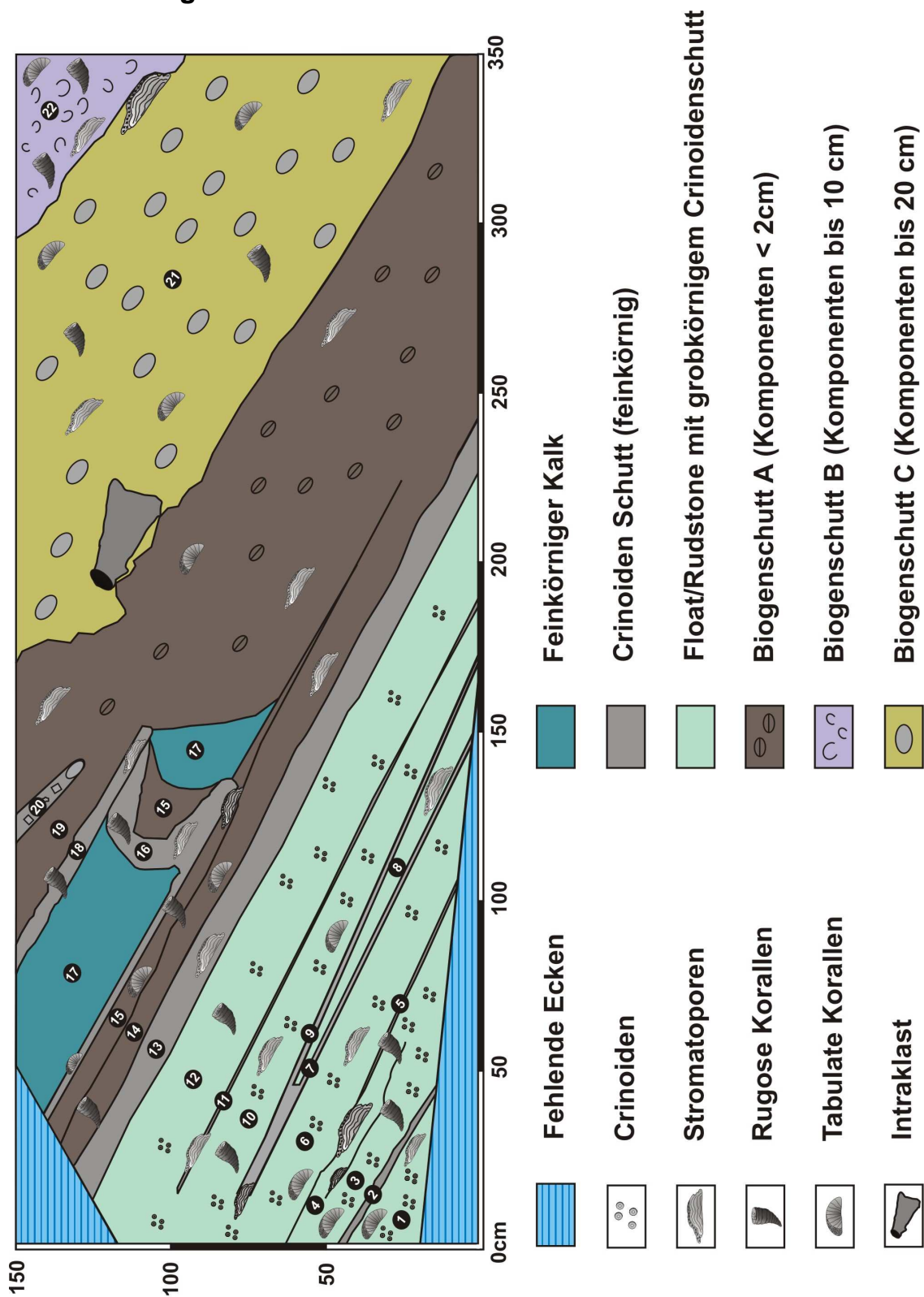


Abbildung 12: Aufsicht des Blockes Co/02. Zusammenfassung von Gesteinseinheiten nach lithologischen und kompositionellen Gesichtspunkten.

Grundsätzlich werden 6 primäre „Gesteinstypen“ im Block unterschieden: feinkörniger Kalk, Crinoidenschutt, Float/Rudstone mit Stromatoporen und Biogenschutt A-C. Das unterschiedliche Komponenten-/„Grundmasse“-Verhältnis bzw. die mittlere Korngröße dieser Gesteinstypen wird als Maß für die „Hydrodynamik“ während der Ablagerung interpretiert. Dem entsprechend kann ein „Stillwasser“-Anteil von einem „Bewegtwasser“-Anteil unterschieden werden.

Beschreibung der Schichten mit vermutetem Verlauf:

Float/Rudstone mit Crinoiden und Stromatoporen (1) welcher von einer dünnen feinkörnigen Schicht (2) aus Crinoidenschutt bedeckt ist. Schicht (3) wird von Schicht (5) bedeckt, jedoch ist eine kurze Abtrennung (4) erkennbar, auf welcher sich eine Stromatopore und eine rugose Koralle befinden. Die folgenden Float/Rudstone-Ablagerungen (6, 8, 10, 12) werden von dünnen feinkörnigen Crinoidenschuttlagen (7, 9, 11) durchzogen. Eine durchgehende Crinoidenschuttlage (13) beendet die Float/Rudstone-Ablagerungen. Der Biogenschutt A (14, 15, 19) wird durch Einschaltungen von „feinkörnigem Kalk“ (17) und Crinoidenschutt (16, 18, 20) unterbrochen. Die mächtigste Schicht (21) in Block Co/02 besteht aus Biogenschutt mit Komponenten bis zu 20 cm, welche kaum Transportmerkmale aufweisen. Bezugnehmend auf das Punktzählverfahren besteht diese Schicht aus 50 % Biogenen über 1 cm. Ein 30 cm langer Intraklast (Einschluss verschiedener Komponenten, u.a. Chaetetiden) liegt an der Grenze von Biogenschutt A und Biogenschutt C und ist parautochthon. Abschließend folgt Biogenschutt B (22) mit Komponenten geringerer Größen.

Orientierung des Blockes

Die ursprüngliche Lage und Position des Gesteinsblockes lässt sich nicht eindeutig rekonstruieren. Damit ist eine „oben-unten“-Orientierung nicht einwandfrei möglich. Mit dem Vorkommen eines Intraklasten, welcher auf Lage 19 aufliegt (weist vermutlich durch vorzeitige Verfestigung eine höhere Dichte als die restlichen Komponenten in dieser Schüttung auf) wird eine wie in Abb. 12 gezeigte Lagerung

angenommen. Diese jüngeren groben Sedimente (Biogenschutt A-C) und älteren feinen Sedimente (Schicht 1-13) zeigen ein coarsening upward und eine Zunahme der Wasserenergie.

Vergleiche mit sedimentären Strukturen der Abbauwand unterstützen diese Orientierung.

4.5.2 Organismenverteilung

Die Häufigkeiten der Organismen bezogen auf die in Kapitel 4.5.1 dargestellten sedimentären Einheiten schwanken zum Teil erheblich (Abb. 13). In Lage 3, 14, 15 und 21 ist eine vermehrte Ansammlung von Korallen zu erkennen. Der Biogenschutt C (21) nimmt ein Viertel der „Fläche“ des gesamten Blockes ein und die biogenen Komponenten übersteigen den Anteil an der „Grundmasse“. Auffallend ist, dass Schichten auftreten, in denen kaum makroskopisch ausscheidbare Organismen vorkommen (2, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 18); sie werden als „normale“ Hintergrundsedimentation gedeutet. Die Schichten (2, 5, 7, 9) bestehen aus feinkörnigem Crinoidenschutt, der sich vermutlich als dünne Schicht über das bereits „stabilisierte“ Sediment gelegt hat. Teilweise kommen Stromatoporen in Lebensstellung vor (7, 8) und scheinen auf diese dünnen Lagen aufgewachsen bzw. von ihnen zugedeckt worden zu sein.

Generell sind die Stromatoporen den rugosen und tabulaten Korallen quantitativ überlegen. Die größte Häufigkeit zeigen die Stromatoporen in Schicht 4, wobei dieser Wert durch sehr große Bruchstücke hervorgerufen wird.

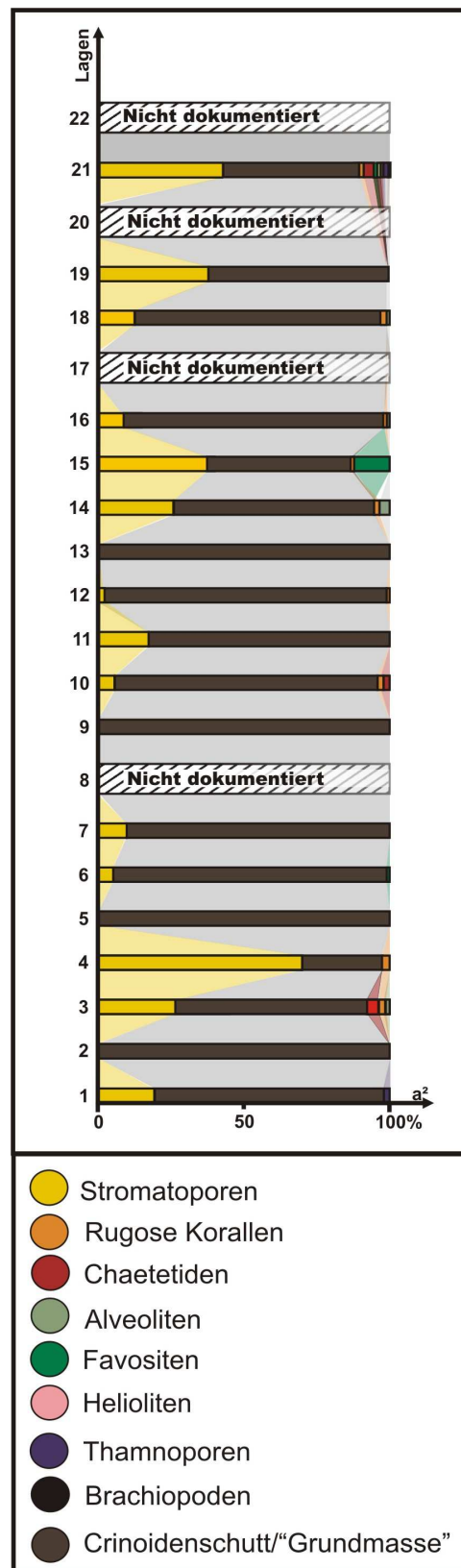


Abbildung 13: Verteilung der Organismen-Häufigkeiten.

4.6 Riffbildner

4.6.1 Stromatoporen

4.6.1.1 Stromatoporoidea Nicholson & Murie 1878

Vorkommen: Unteres Ordovizium bis Devon

Sessile Benthosbewohner im Flachwasserbereich, verwandt mit den Schwämmen; Kalkhaltiges Basisskelett mit waagrechten und senkrechten Skelett-Elementen (Laminae und Pilae); Koloniebildend; Skelett im Bereich von einigen Millimetern bis zu maximal 2 Meter; Die Morphologie kann kugelig, knollig, zylindrisch oder ästig sein.

Der Wuchsform des Stromatoporen-Coenosteen kommt für die Interpretation des Paläoenvironments Bedeutung zu.

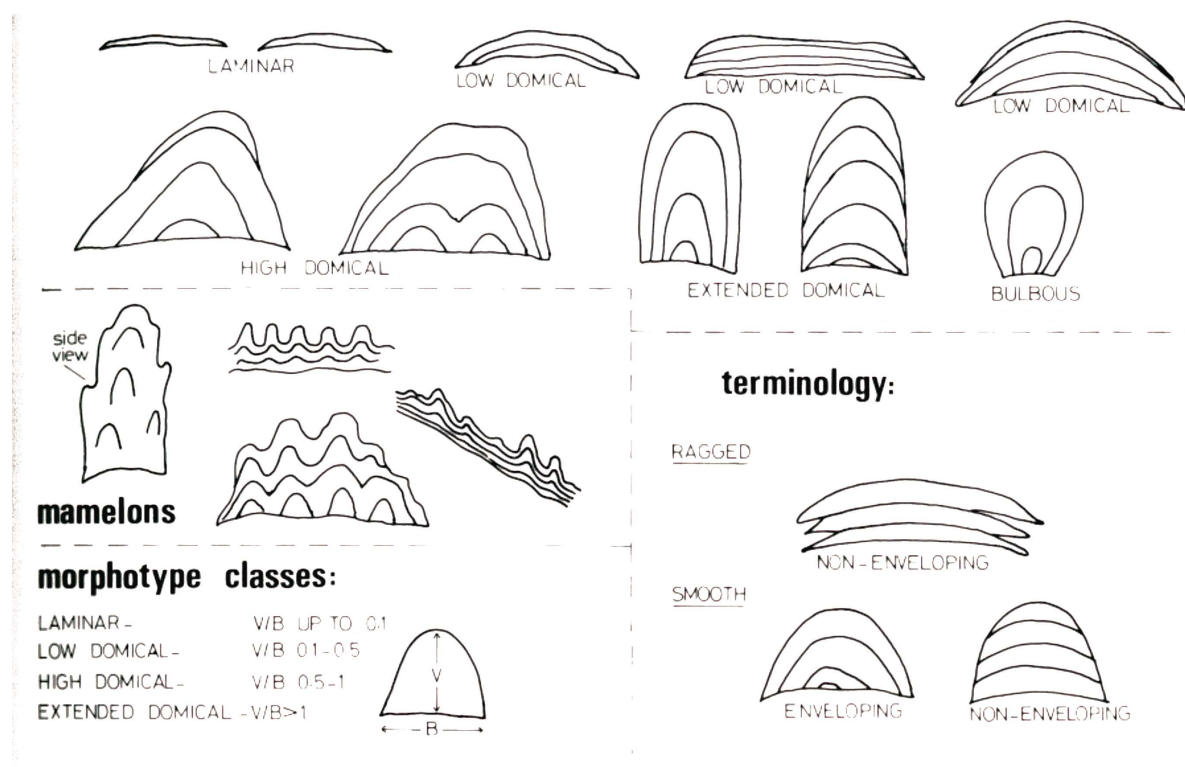


Abbildung 14: Stromatoporen Morphotypen (nach KERSHAW, 1990; KERSHAW & RIDING, 1978).

Generell lassen sich drei Hauptgruppen von Wuchsformen unterscheiden:

Laminar, domical und mamelonisch. Es wird auch zwischen einer glatten („smooth“) und unregelmäßig, lappigen („ragged“) Oberfläche unterschieden (Abb. 14). Diese beiden Typen sind durch unterschiedliche Sedimentationsbedingungen entstanden. Während der glatte Typ für ruhige Ablagerungsbedingungen spricht, charakterisiert der lappige Typ rasche Sedimentation. Durch Sediment wird das Coenosteum der Stromatoporen fast vollständig zugedeckt und nur der obere Teil des Organismus, welcher nicht von Sediment bedeckt ist, kann weiter wachsen (KÖNIGSHOF et al., 1991). In Zeiten, in denen kaum noch sedimentiert wird wächst die Stromatopore wiederum auf das umgebende Substrat auf. Der nächste Sedimentationsschub kann die wachsende Oberfläche wieder bedecken und den beschriebenen Vorgang wiederholen. Diese Umstände bewirken dann das lappige Wachstum.

Laminarer Morphotyp:

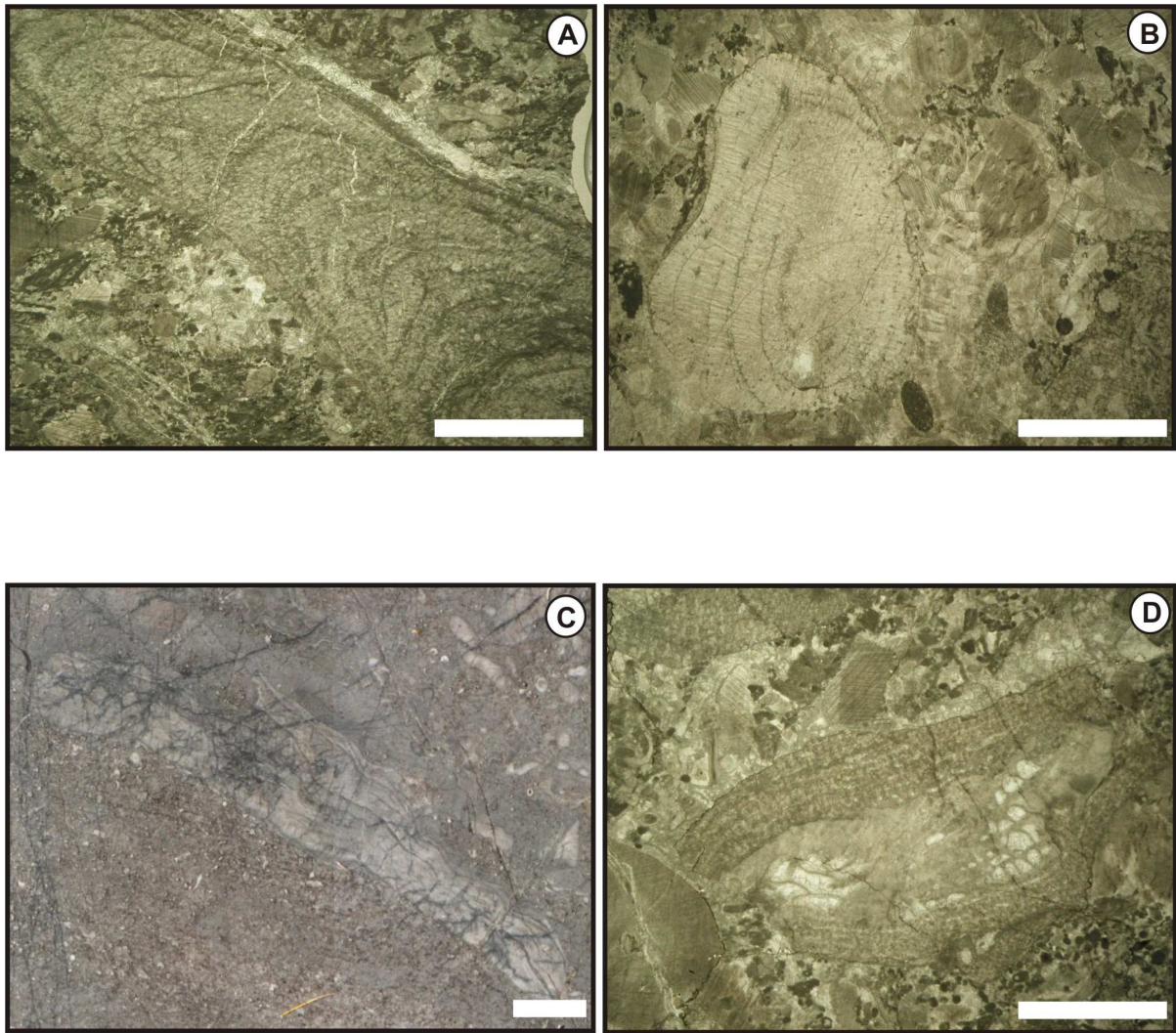
Das charakteristische Höhen- (V) zu Breitenverhältnis (R) ist bei laminaren Formen unter 0,1.

Domicaler Morphotypen:

Es werden drei Untertypen unterschieden: low, high und extended domical, wobei low domical Formen Werte von 0,1 – 0,5 aufweisen, high domical Formen findet man zwischen 0,5 – 1; extended domical Morphotypen beginnen bei Werten über 1.

Mamelonische Morphotypen:

Bei horizontalem Querschnitt ist das Coenosteum blumenkohlartig, die Seite mit der Wachstumsrichtung lässt eine fingerförmige, ästige Struktur erkennen. Die Mamelonen entwickeln sich aus lagigen Wuchsformen.



Tafel 2: Stromatoporen. A: Extended domical Wuchsform; fingerförmig; Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. B: Extended domical Wuchsform; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. C: Lappige Wuchsform; Längsschnitt; Gesteinsoberfläche; Maßstab 5 mm. D: Lagige Wuchsform; Umkrustung; Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm.

4.6.2 Rugose Korallen

Rugose Korallen besitzen ein Skelett aus Kalzit. Diese Skelette können von solitären oder koloniebildenden Formen stammen. Die Individuengrößen variieren bei konischen oder zylindrischen solitären Korallen von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern. Kolonien können bis zu einigen Metern groß werden. Kennzeichnend ist auch die Entwicklung einer Epithek, eine so genannte Außenwandbildung die von der seitlichen Körperwand eines Polypen nach außen gebildet wird. Rugose Korallen besitzen 6 Protosepten und eine Vielzahl von Metasepten. Die Protosepten bestehen aus dem Hauptseptum, dem Gegenseptum, zwei Seitensepten und zwei Gegenseitensepten (vgl. BIRENHEIDE, 1978; Abb. 15). Die Metasepten werden nur in 4 Quadranten eingeschaltet, nämlich zwischen dem Hauptseptum und den Seitensepten, sowie zwischen dem Gegenseptum und den Gegenseitensepten (mit diesem Septeneinschaltungsmodus unterscheiden sie sich von modernen Steinkorallen). Rugose Korallen bildeten häufig Tabulae (Böden) mit Eindellungen (Fossulae) aus, womit sich eine bilaterale Symmetrie erkennen lässt. Zu unterscheiden sind Hauptfossulae (liegen über dem Hauptseptum), Gegenfossulae (liegen über dem Gegenseitenseptum) und Seitenfossulae (liegen über den Seitensepten). Solitäre Formen bilden leichter Fossulae aus als koloniebildende Korallen.

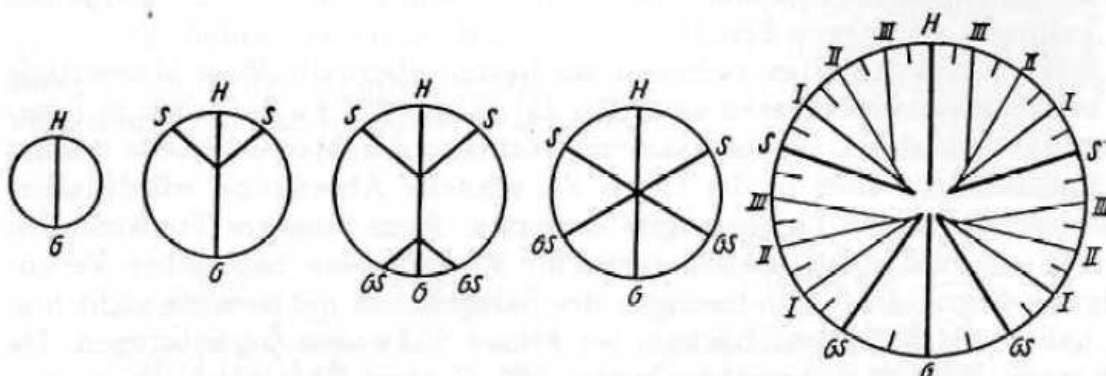
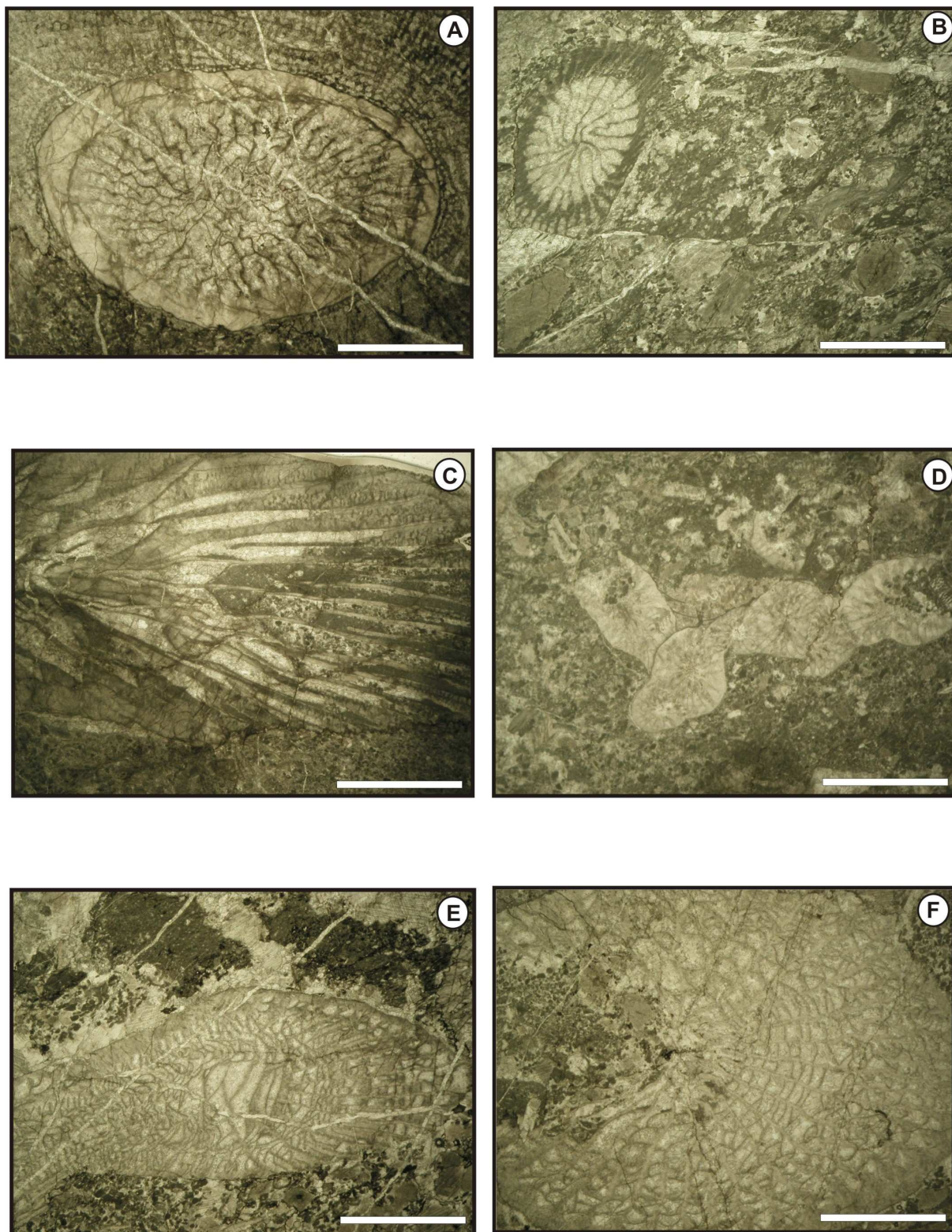
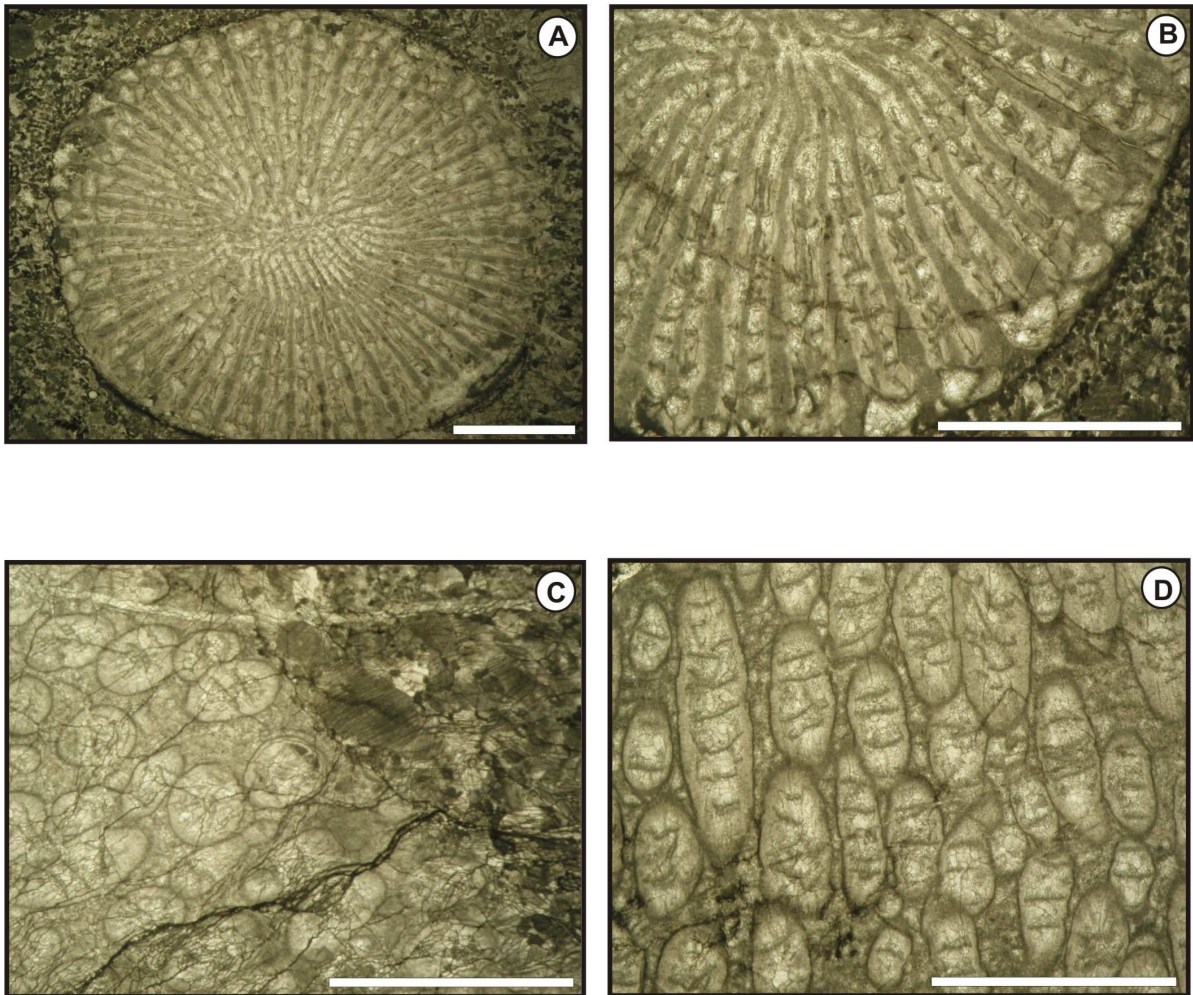


Abbildung 15: Seriales Querschnittsschema durch das Polypar einer rugosen Koralle, um die Septeneinschaltung im Verlauf der Ontogenie und die Raumlage der Fossulae zu zeigen (nach MÜLLER, 1993).



Tafel 3: Rugose Korallen (1). A: Solitäre Koralle, welche von einem Stromatoporiden umwachsen ist; gut entwickelte Theka; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. B: Solitäre Koralle mit fiederstelliger Septenanordnung; *Thamnophyllum?*, schräger Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. C: Solitäre Koralle; Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. D: Kolonienbildende Koralle; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. E: Solitäre Koralle; schräger Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. F: Solitäre Koralle; *Ceratophyllum?*, Septen und Dissepimente gut erkennbar; Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm.



Tafel 4: Rugose Korallen (2). A: Solitäre Koralle mit pseudoradialer Septenanordnung; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. B: Solitäre Koralle (Detailansicht aus Fig. A); Kleinsepten erkennbar; schwach ausgebildete oder abgewitterte Theka; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. C und D: Koloniebildende rugose Koralle, verwachsen mit einem Stromatoporiden; dickwandig, Tabulae zu erkennen; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm.

4.6.3 Tabulate Korallen

Besitzen ein kalzitisches Skelett und sind ausschließlich Koloniebildner. Sie kommen mit sehr unterschiedlichen Wuchsformen vor. Prinzipiell unterscheidet man „kommunikate“- (Korallitenröhren berühren sich allseitig) und „inkommunikate“ (Korallitenröhren berühren sich nicht allseitig) Formen (BIRENHEIDE, 1985). Normalerweise treten sie in kleinen Kolonien auf, aber es sind auch Kolonien mit einigen Metern Durchmesser bekannt. Die quer zur Wachstumsrichtung der Koralliten gelegenen Zwischenböden bezeichnet man als Tabulae. Die Wände sind mit Poren ausgestattet, welche die Weichkörperverbindung zwischen den einzelnen Koralliten erlauben. Septaldornen bilden sich an den Wänden oder an den Zwischenböden und wachsen in das Lumen. Wenn Septaldornen miteinander verwachsen bezeichnet man sie als Septalleisten (z.B.: Helioliten).

4.6.3.1 Favositidae Dana 1846

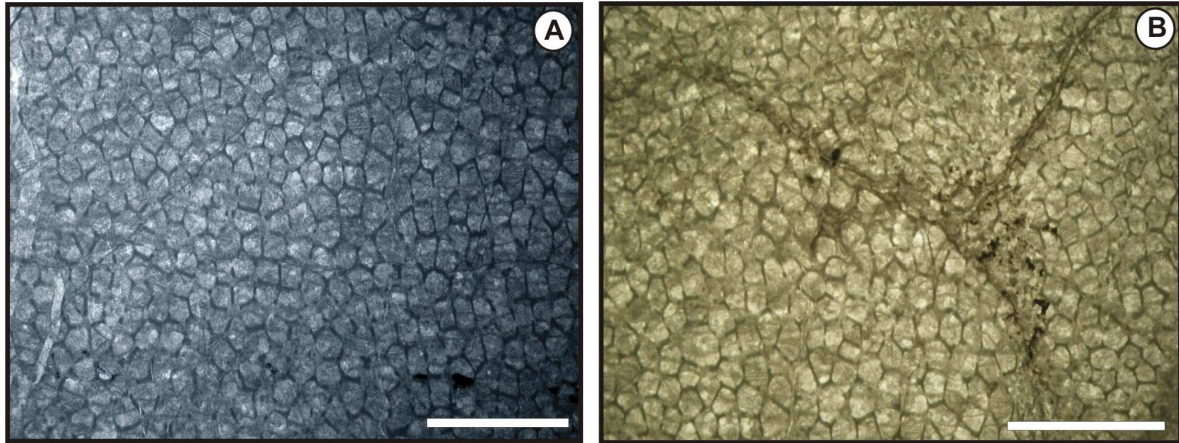
Vorkommen: Mittleres Ordovizium bis unteres Perm.

Korallum cerioid; Koralliten mit oder ohne Wandverdickung; Septaldornen fehlend bis sehr zahlreich; Wandporen häufig.

4.6.3.1.1 *Favosites* Lamarck 1816

Vorkommen: Mittleres Ordovizium bis unteres Perm.

Sphärische, pilzförmige oder polymorphe, dickwandige Kolonien; Septaldornen fehlend oder vorhanden; Wandporen und Querböden gut entwickelt; Poren nicht an den Korallitenkanten.

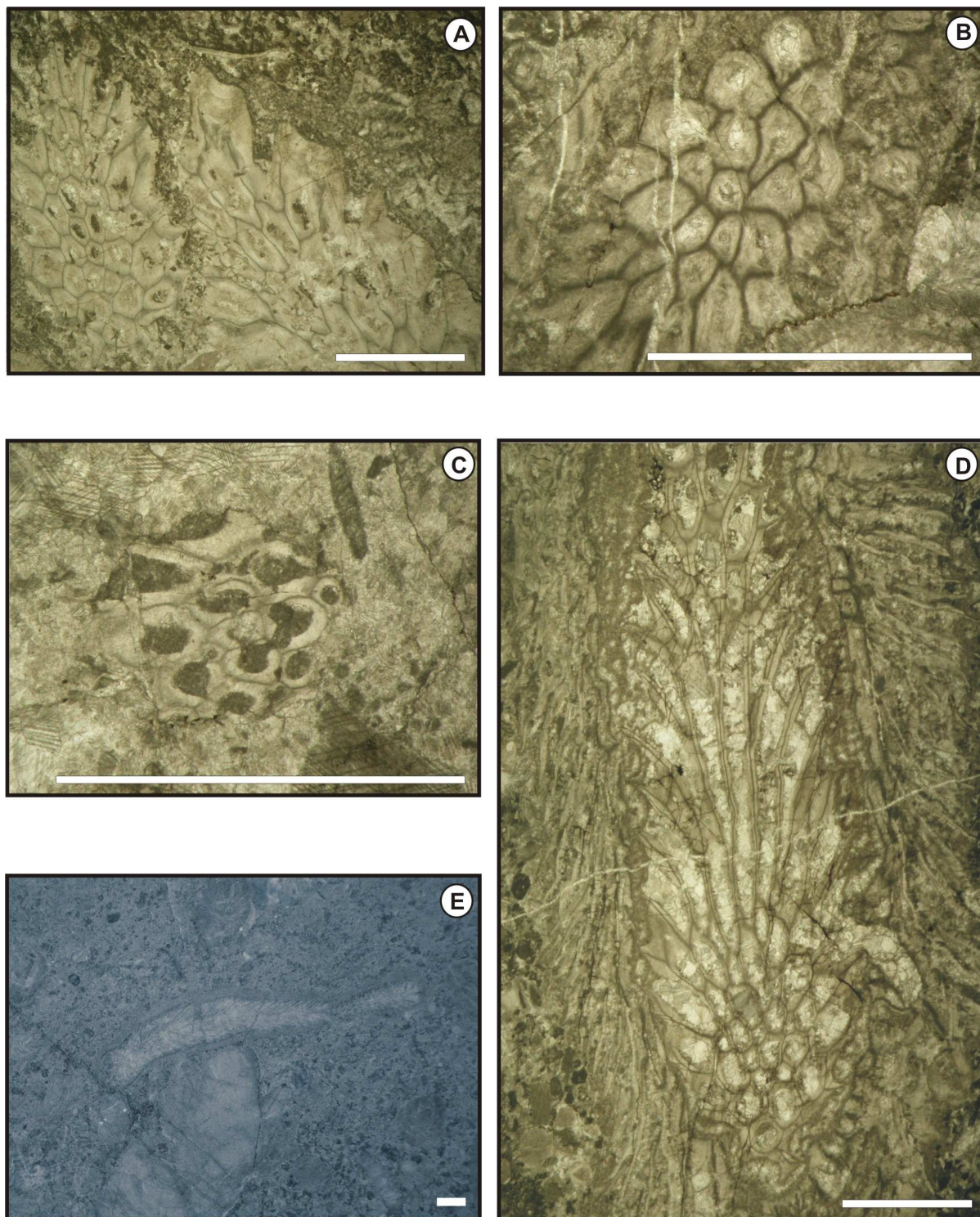


Tafel 5: Favositen. A: *Favosites*; mit typischen prismatischen Korallitenröhren-Querschnitten; Blau eingefärbt um besseren Kontrast zu erhalten; Querschnitt; Gesteinsoberfläche; Maßstab 5 mm. B: *Favosites*; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm.

4.6.3.1.2 *Thamnopora* Steininger 1831

Vorkommen: Mittleres Devon bis Oberes Devon (Eurasien)

Ästige Kolonien, mit Kelchen normal zur Oberfläche; Kelchrandverdickungen charakteristisch; Korallitenröhren fächerförmig; Wandporen häufig bis selten; Septaldornen zahlreich bis nicht nachweisbar; Böden häufig bis selten.



Tafel 6: Thamnoporen. A: *Thamnopora*; Korallitenkelche teilweise mikritisch verfüllt; schräger Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. B: *Thamnopora*; Koralliten sehr klein aber Wände deutlich erkennbar; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. C: *Thamnopora*; Kelche mit Sedimentfüllung; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. D: *Thamnopora*; von alveolitischer Koralle umwachsen (Reaktion am Überwachungsaum); verdickte Wände; keine Septaldornen erkennbar; im oberem Bereich Tabulaebildung; Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. E: Ästige *Thamnopora*; blau eingefärbt um besseren Kontrast zu erhalten; Längsschnitt; Gesteinsoberfläche; Maßstab 5 mm.

4.6.3.2 Alveolitidae Duncan 1872

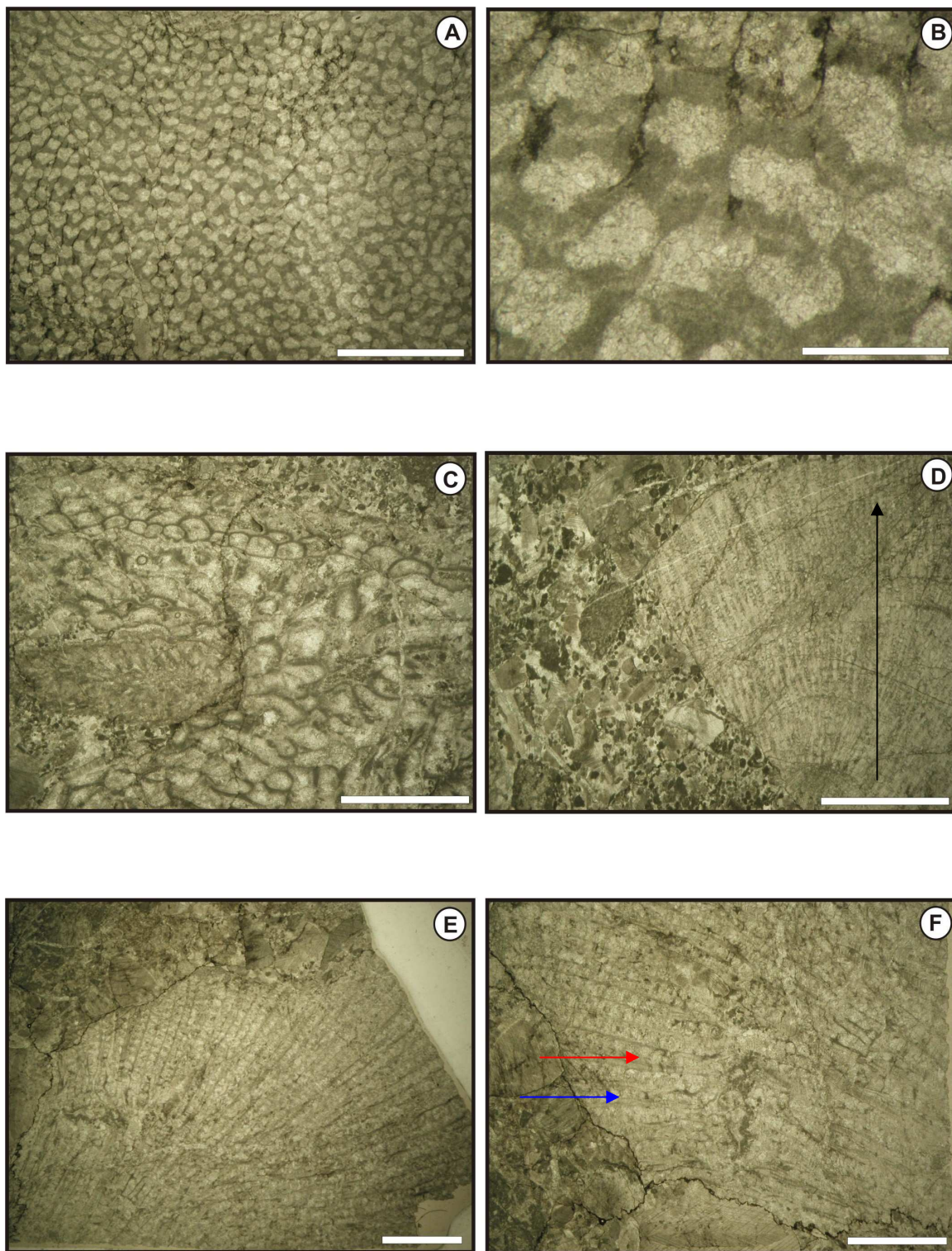
Vorkommen: Unteres Silur bis oberes Devon

Massives Korallum, inkrustierend oder verzweigt; Koralliten schmal und lang, distal dünnwandig, proximal dickwandig; zahlreiche, große, in einer Reihe liegende Wandporen; Tabulae horizontal eben oder konkav.

4.6.3.2.1 *Alveolites* Lamarck 1801

Vorkommen: Unteres Devon bis oberes Devon

Korallum massiv, inkrustierend, irreguläres oder fingerartiges Wachstum; dünnwandig an der Basis und in der Mitte gleichmäßig verdickt; kleine dünne Septaldornen, normalerweise in einer Reihe; Tabulae dünn und vollständig; Wachstum lateral oder longitudinal; Wandporen an den Wandkanten.



Tafel 7: Alveoliten. A: *Alveolites*; Septaldornen typischerweise zu „Hauptdorn“ verdickt an der konvexen Korallitenseite; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. B: *Alveolites* (Detailansicht aus Fig. A); Koralliten mit Septaldornen; verdickte Korallitenwände; Querschnitt; Dünnschliff; Maßstab 1 mm. C: *Alveolites*; einen Bioklasten inkrustierend und sich selbst umkrustend; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. D: *Alveolites*; Teilstück einer Kolonie, Wachstum in Pfeilrichtung; Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. E: *Alveolites*; Tabulae und Korallitenwände deutlich erkennbar; Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm. F: *Alveolites*; Fokus auf Tabulae (roter Pfeil) und Korallitenwände (blauer Pfeil); Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm.

4.6.3.3 Heliolitidae Lindström 1873

Vorkommen: Mittleres Ordovizium bis Mittleres Devon (Givetium)

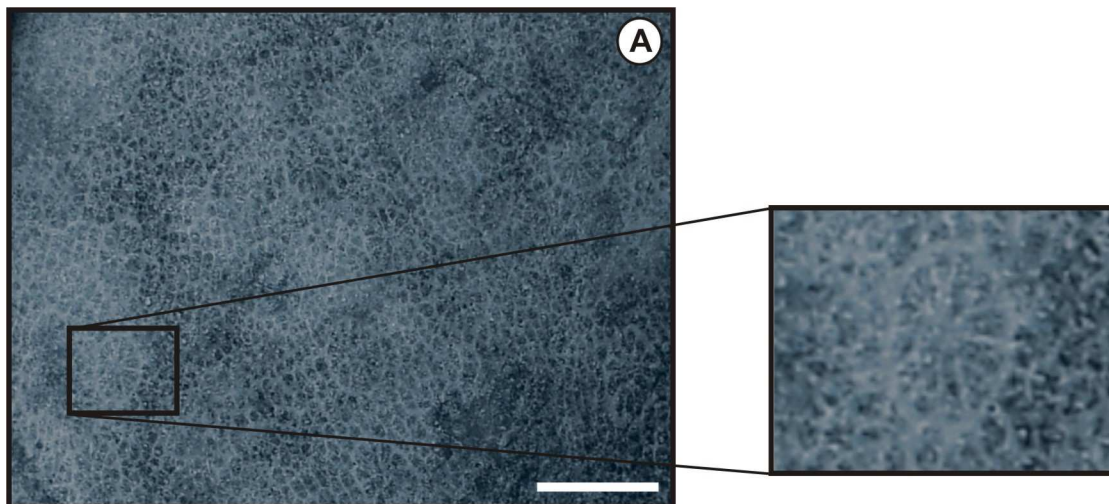
Massives Korallum, coenenchymatisch mit zylindrischen Koralliten; Tabulae vollständig oder blasenförmig; Koralliten mit 12 Septaldornen (können auch fehlen).

4.6.3.3.1 *Heliolites* Dana 1846

Vorkommen: Mittleres Ordovizium bis unteres Devon (weltweit).

Eurasien: Mittleres Devon (bis Givetium)

Wuchsform der Koralla können variieren, Koralliten zylindrisch, im Querschnitt gerundet oder oval; Koralliten mit 12 Septaldornen bzw. „septenlos“; Tabulae horizontal; Coenenchym aus prismenartigen Tubuli mit Querböden; Poren fehlen.



Tafel 8: Helioliten. A: *Heliolites*; gut entwickelte zwölf Septaldornen; zylindrische Koralliten; Coenenchym aus Röhren; blau eingefärbt um besseren Kontrast zu erhalten; Querschnitt; Gesteinsoberfläche; Maßstab 5 mm.

4.6.3.4 Chaetetidae Milne-Edwards & Haime 1849

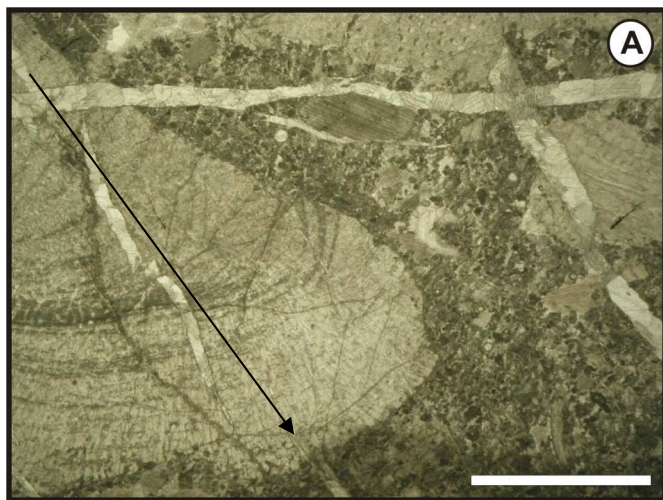
Vorkommen: Mittleres Devon bis Perm

„Koralle“ mit kleinen bis sehr kleinen Koralliten (meistens unter 0,5 mm Durchmesser); dünne Tabulae, Septalbildungen nicht bekannt; fehlende Wandporen.

4.6.3.4.1 *Chaetetes* Fischer von Waldheim in Eichwald 1829

Vorkommen: Mittleres Devon bis Perm (Europa - Asien)

Massives Korallum, subglobular oder halbkugelförmig, normalerweise durch schmale Bänder kennzeichnet (langsames Wachstum); Koralliten radial angeordnet, lang, prismenartig; horizontale, als auch schräg zur Wand laufende Tabulae, fehlende Septaldornen; fehlende Wandporen.



Tafel 9: Chaetetiden. A: *Chaetetes*; Wuchsform in Pfeilrichtung; keulenförmige Morphologie; dünne Korallitenröhren; Längsschnitt; Dünnschliff; Maßstab 5 mm.

4.7 Ökologie der Organismen

Im devonischen Ökosystem Riff kamen Stromatoporen (Taf. 2) mit rugosen (Taf. 2; Taf. 3) und tabulaten Korallen (Taf. 5-9) als „gerüstbildende“ Organismen, sowie Brachiopoden, Echinodermen und Gastropoden als „riffbewohnende“ Organismen vor.

Stromatoporen bevorzugten den bewegten Flachwasserbereich. Sie nutzten vor allem Hartsubstrate zum Aufwachsen, konnten jedoch auch weiche Böden als Unterlage (mikritische Kalke) besiedeln. Die Morphologie der Coenosteen wurde in Abhängigkeit von der Hydrodynamik unterschiedlich gebildet. Der Riffkern ist charakterisiert durch das vermehrte Auftreten von massiven Wuchsformen. Der Übergang in den Rückriffbereich ist gekennzeichnet durch low domicales und hemisphärisches Wachstum. Im Rückriffbereich kommen kleine knollige Morphotypen vor (KÖNIGSHOF & KERSHAW, 2005).

Korallen kamen bevorzugt im flachen Subtidal der tropischen und subtropischen Meere vor, konnten jedoch auch in höheren Breiten wachsen. Die meisten rugosen Korallen benötigten zum Aufwachen ein Hartsubstrat, einige Taxa konnten jedoch auf Weichsubstrat liegend vorkommen (z.B.: *Calceola*). Im tieferen Wasser kamen Einzelkorallen mit geringerer Septenanzahl vor. Knopfkorallen bevorzugten den Stillwasserbereich. Im flachen bis mäßig tiefen Wasser kamen Hornkorallen mit kleinen bis großen Wuchsformen vor. In Brachiopoden-dominierten Bereichen finden sich häufig Einzelkorallen mit kegel-, subzylindrischer oder „möhrenförmiger“ Wuchsform (vgl. BIRENHEIDE, 1978). Der Großteil der tabulaten Korallen wuchs frei am Boden auf. Das verflachte Kolonienwachstum verhinderte das Einsinken im weichen Substrat (vgl. ZIEGLER, 1991).

4.8 Stratigraphische Überlegungen

Aus der Coelenteraten-Fauna ist ein givetisches Alter der Ablagerungen abzuleiten. Synchron zur vorliegenden Arbeit wurden von Dr. Thomas Suttner Proben aus dem Aufschluss auf Conodonten untersucht, um in einer weiterführenden Arbeit die Riff-Phasen der Karnischen Alpen stratigraphisch genauer fassen zu können.

Die conodontostratigraphische Untersuchung der Proben Co/02-Schicht 1, Co/02-Schicht 3, Co/02-Schicht 13 erbrachte folgende Ergebnisse:

Co/02- Schicht 1:

Belodella resima Philip 1965

Polygnathus timorensis Klapper, Philip, Jackson, 1970

Polygnathus sp.

Co/02- Schicht 3:

Belodella resima Philip 1965

Neopanderodus sp.

Icriodus cf. *regularicrescens*

Polygnathus linguiformis ssp.

Co/02- Schicht 13:

Neopanderodus sp.

Polygnathus sp.

Zeitabschnitt	Conodontenzonierung	
Givetium	<i>disparilis</i>	disparilis
	<i>ansatus</i>	
		varcus
	<i>rhenanus</i>	
	<i>timorensis</i>	
	M	
	L	

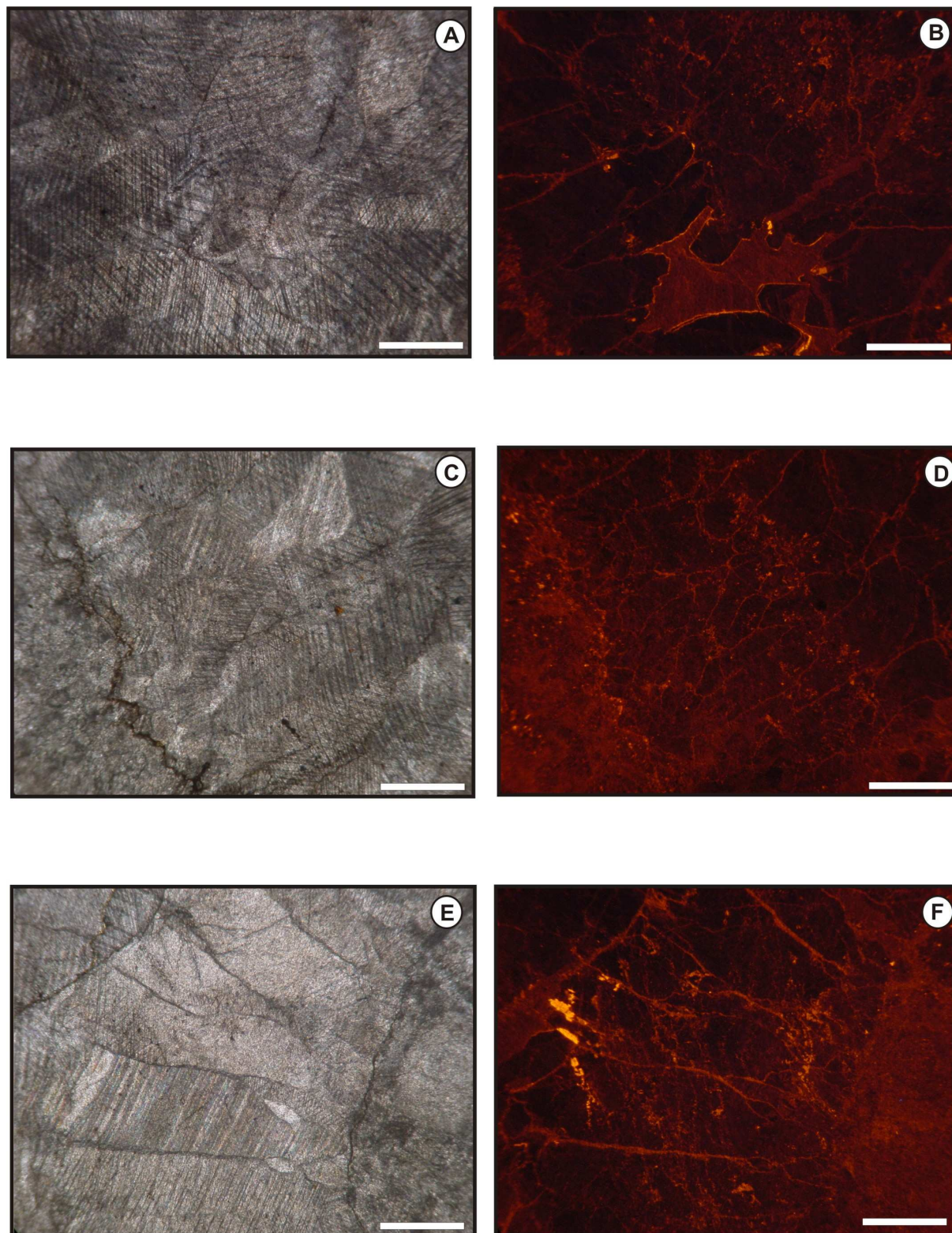
Abbildung 16: Ausschnitt aus der Devonischen Zeitskala verändert nach KAUFMANN (2006).

Das Auftreten von *Polygnathus timorensis* spricht für die stratigraphische Zuordnung der Proben in die untere *varcus*-Zone (Abb. 16).

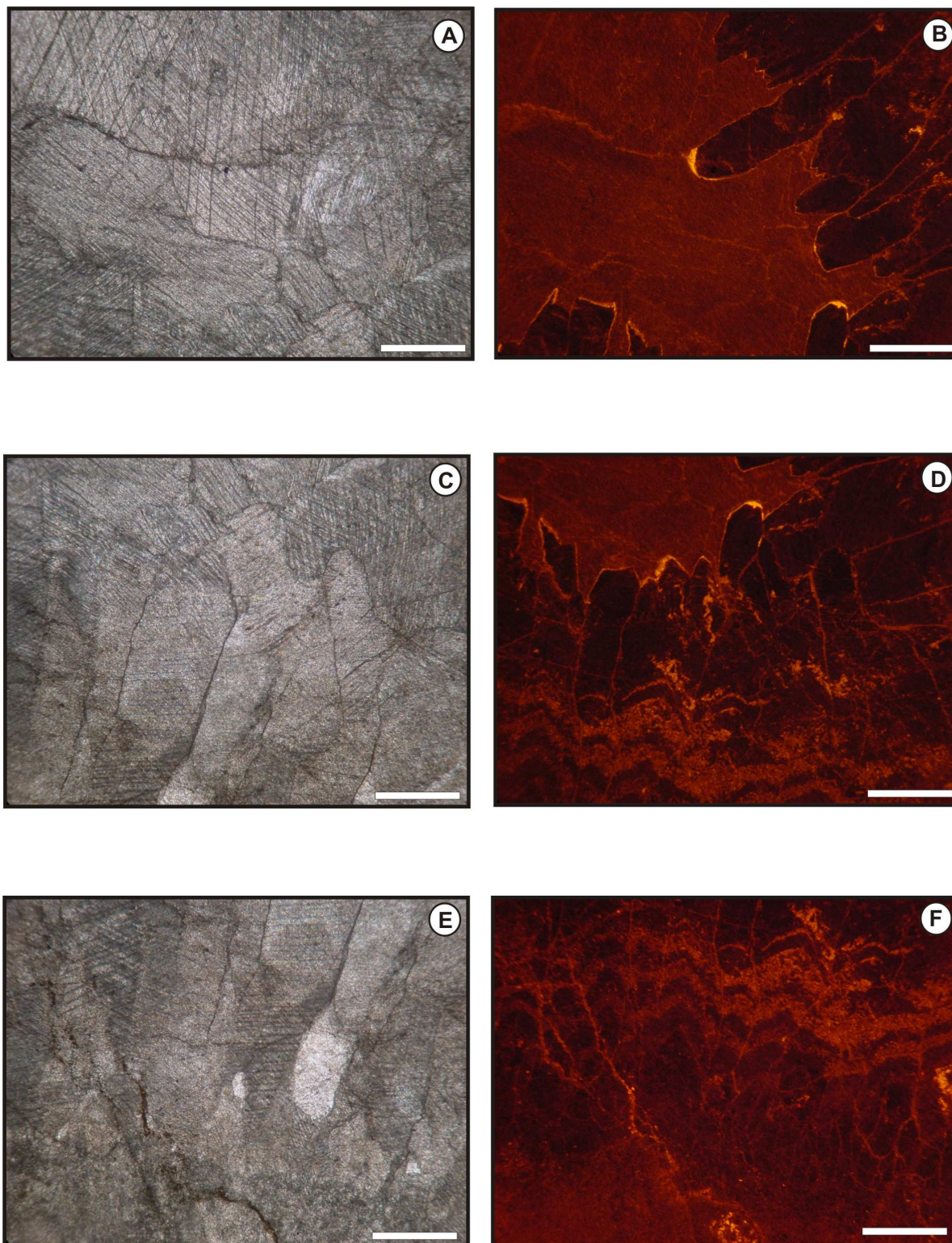
4.9 Kathodenlumineszenzanalyse der Zemente

Kathodenlumineszenzanalysen (KL-Analyse) an Karbonatzementen ermöglichen zusätzliche Aussagen zur diagenetischen Entwicklung zu machen. Dabei wird es über die Lumineszenz möglich Merkmale wie Wachstumsgenerationen, welche im Durchlichtmikroskop nicht feststellbar sind, sichtbar zu machen (Taf. 10-14).

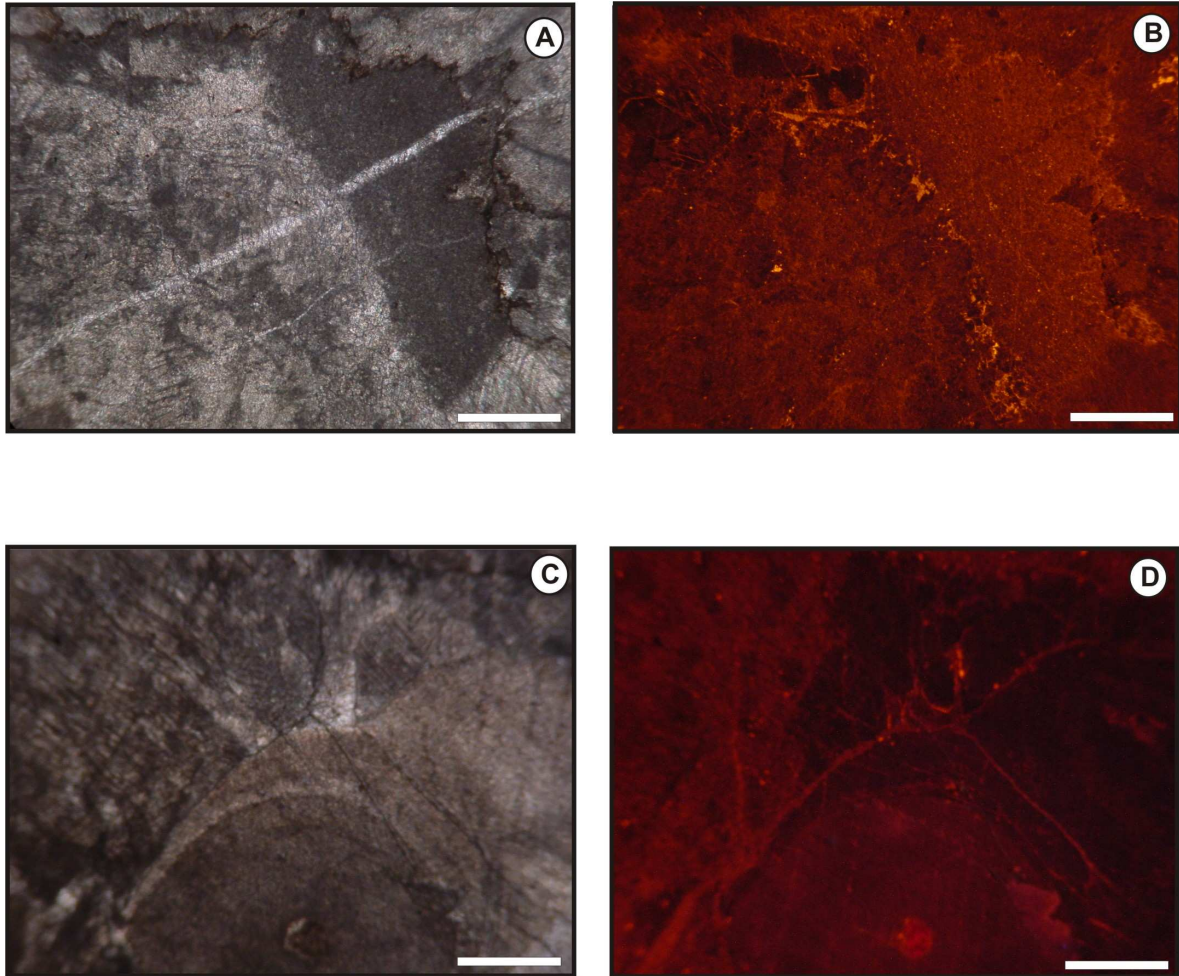
Im vorliegenden Material kommen verschiedene Zemente (Tab. 7) mit unterschiedlicher Lumineszenz vor. Der radial-faserige Zement luminesziert selbst nicht, nur seine Ränder weisen orange- bis gelb lumineszierendes Verhalten auf. Wachstumszonierungen sind deutlich zu erkennen, da sich lumineszierende und nicht lumineszierende Generationen abwechseln. Weiters weisen der granulare, drusige und der synaxiale Zement ihrerseits eine sehr schwache Lumineszenz auf, nur die Ränder heben sich deutlich vom Rest der Kristalle ab. Blockige Zemente erscheinen orange-rot und leicht lumineszierend, jedoch heben sich ihre Ränder nur schwer hervor. Der im Durchlichtmikroskop homogen erscheinende vadose Silt leuchtet im KL-Mikroskop hell- bis dunkelorange und lässt kleine Kalzitkristalle erscheinen.



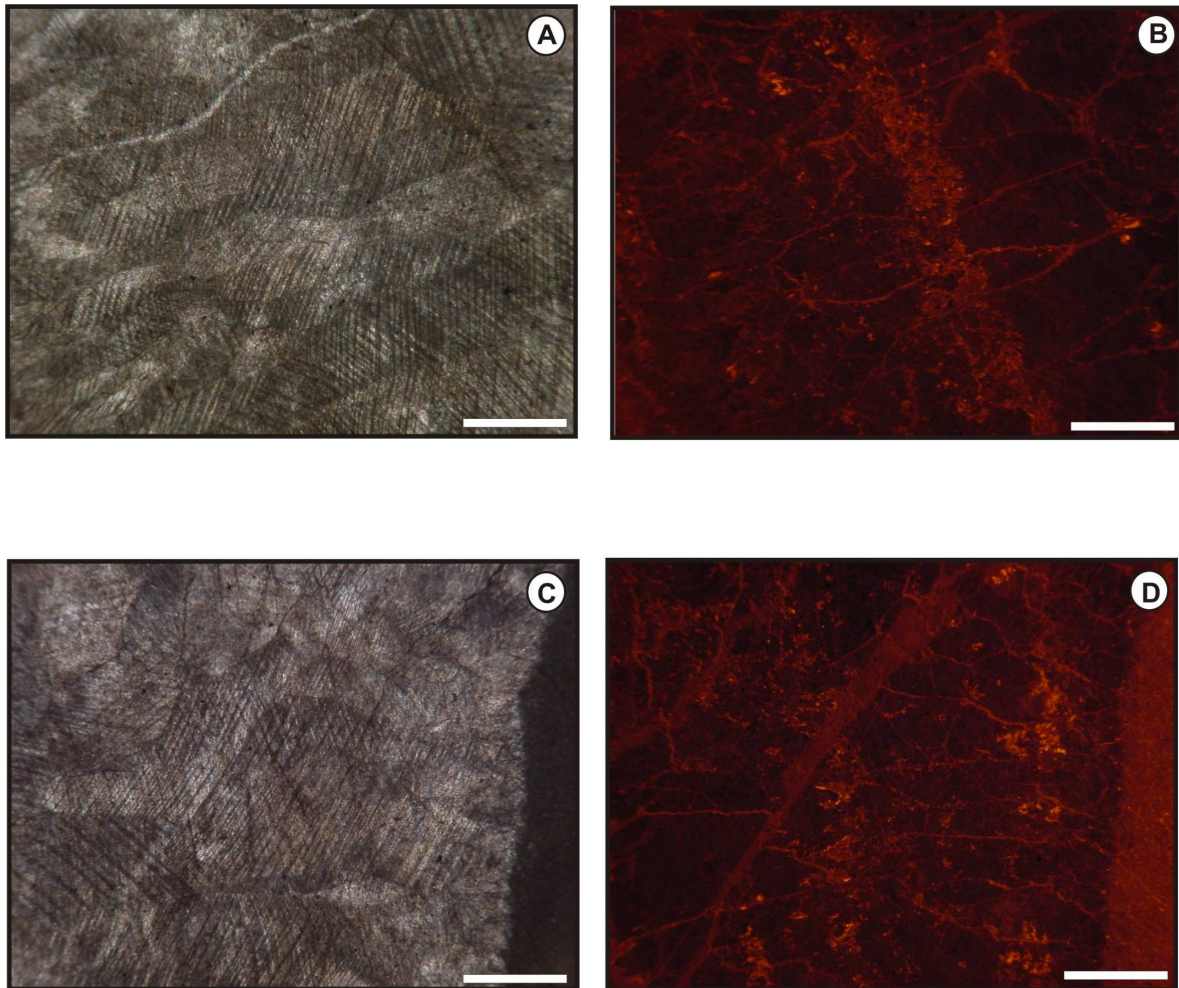
Tafel 10: Zemente (1). A + B: Durchlicht und KL-Aufnahme; Radial-faserige Zemente von den Seiten zur Mitte wachsend; Maßstab 1 cm. C + D: Durchlicht und KL-Aufnahme; Blockiger Zement begrenzt durch eine Bruchlinie (?); Maßstab 1 cm. E + F: Durchlicht und KL-Aufnahme; Zementkristalle ausgehend von Gesteinsmasse und begrenzt durch eine *Thamnopora*; Maßstab 1 cm.



Tafel 11: Zemente (2). A + B: Durchlicht und KL-Aufnahme; Übergang radiaxial-faseriger Zement zu blockigem Zement; Maßstab 1 cm. C + D: Durchlicht und KL-Aufnahme; Übergang radiaxial-faseriger Zement zu blockigem Zement; Radiaxial faseriger Zement mit unterschiedlichen Generationen; Maßstab 1 cm. E + F: Durchlicht und KL-Aufnahme; Zementgenerationen des radiaxial-faserigen Zementes mit darunter liegendem drusigen Zement; Maßstab 1 cm.



Tafel 12: Zemente (3). A + B: Durchlicht und KL-Aufnahme; im Durchlichtmikroskop erkennt man einen homogenen vadosen Silt mit Kristallbruchstücken, Maßstab 1 cm. C + D: Durchlicht und KL-Aufnahme, syntaxialer Zement umwächst ein Crinoidenfragment; Maßstab 1 cm.



Tafel 13: Wachstumsunterbrechungen von Zementkristallen. A + B: Durchlicht und KL-Aufnahme, Zementkristalle mit „syngenetischer“ Wachstumsunterbrechung, erkennbar durch nicht zerschnittene Kristalle; Maßstab 1 cm. C + D: Durchlicht und KL-Aufnahme, Zementkristalle mit Wachstumsunterbrechung; „postgenetisch“, da Kristalle verschoben sind; Maßstab 1 cm.

5 ABLAGERUNGSGESCHICHTE

5.1 Interpretation des Blockprofils

Die Komponentengrößenverteilung in den Schichten 1-13, 14-20, 21 und 22 zueinander lässt die relative Wasserenergie zur Zeit der Ablagerung vermuten (Abb. 17).

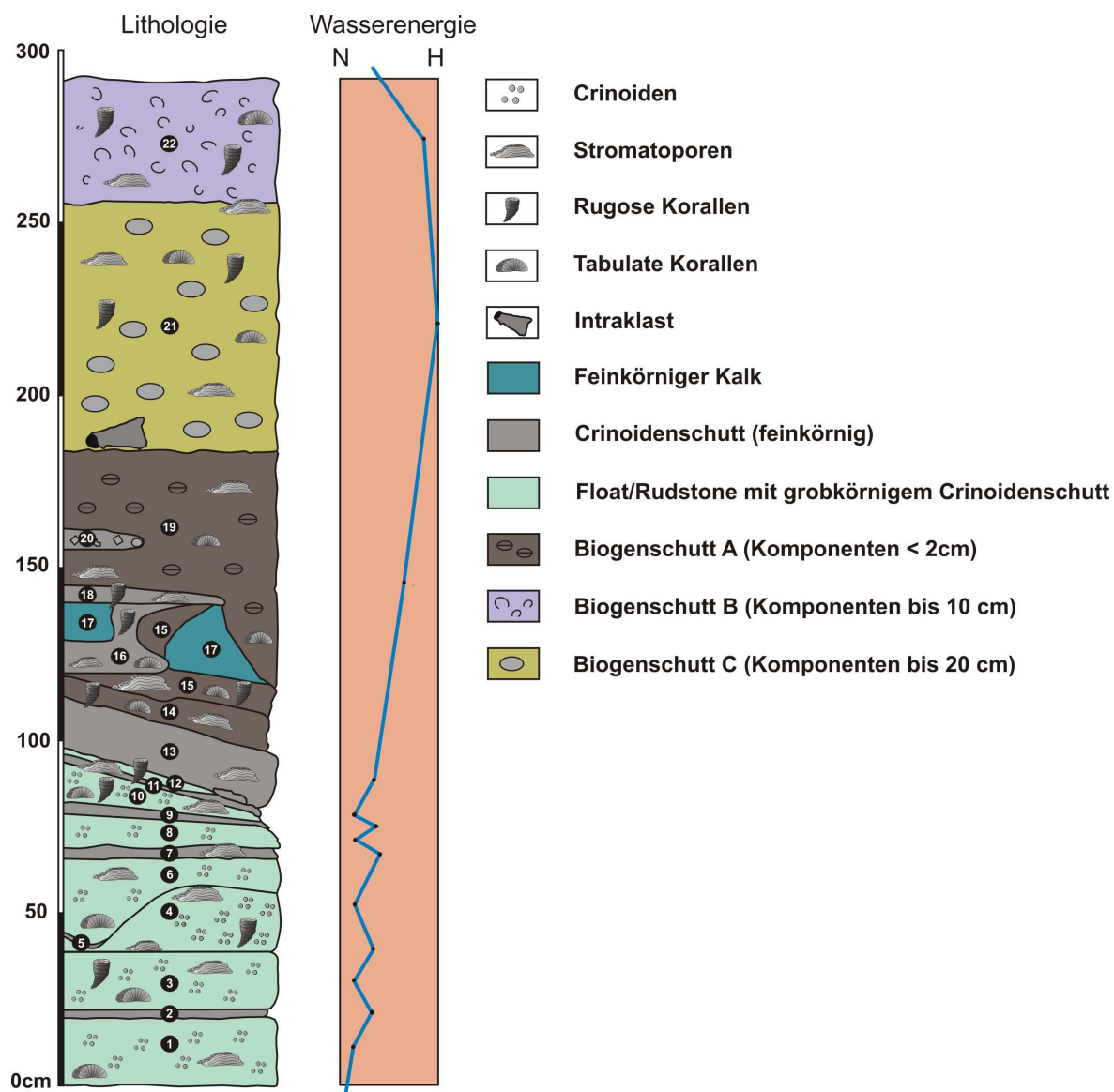


Abbildung 17: Säulenprofil der Sedimente und Hydrodynamik (N: niedrige Wasserenergie; H: hohe Wasserenergie).

Es können vier Phasen der Sedimentation unterschieden werden:

- 1) Schicht 1-13, feiner bis grober Crinoidenschutt mit Sedimentation bei mittlerer Turbulenz.
- 2) Biogenschutt A mit Komponentengrößen von <2 cm; Sedimentation im turbulentem Wasser.
- 3) Biogenschutt C mit Komponenten bis 20 cm deutet auf hohe Wasserenergie hin.
- 4) Biogenschutt B mit abnehmender Komponentengröße; etwas ruhigere Sedimentationsbedingungen.

5.2 Ablagerungsmilieu

Der Modalbestand der Ablagerungen zeigt eine deutliche Dominanz an riffbildenden Organismen (vgl. Tab. 2; Abb. 11). Diese sind mehrheitlich nicht in Lebendstellung sondern kommen als Klaster mit unterschiedlichen Fraktionierungsgraden vor. Es handelt sich bei den Ablagerungen nicht um ein in situ Riff sondern um Riffschutt. Das eigentliche Organismenwachstum fand im Riffkernbereich, der vermutlich in der Kellerwand liegt, statt und wurde als Schutt in den Vorriffbereich transportiert. Dass es sich beim vorliegenden Sediment um eine Ablagerung des Vorriffbereichs handelt, wird durch folgende Indizien unterstützt: Vorkommen von Vorriff-Zementen (z.B.: fibriösen Kalzizementen; KREBS, 1969), geringer Matrixgehalt, biogene Umkrustungen sowie fehlende Rindenkörner und Abwesenheit von lagunären Organismen (Calcisphären, Grünalgen).

Bioerosive Spuren sind selten bis fehlend. Das gilt sowohl für Mikro- wie auch für Makro-Bohrorganismen. Generell ist Bioerosion typisch für den Rückriffbereich (Komponenten werden nur langsam zusedimentiert). Im lebenden Zustand können Stromatoporen und Korallen von bohrenden Organismen nur schwer besiedelt werden, da sie an der Oberfläche von lebendem Gewebe bedeckt sind. Es sei denn,

das Gewebe wird durch andere Organismen entfernt oder durch physikalische Ereignisse entrindet (NIELD, 1986). Fehlende Bioerosion wird daher als Indiz für eine schnelle Einbettung gedeutet. Das grobe Riffschuttmaterial (Größe: bis mehrere dm) weist auf eine Erosion der lebenden Organismen und schnelle Einbettung hin. Die Komponenten weisen einen geringen Rundungsgrad und somit einen geringen Transport auf. Die Komponentengrößen variieren von einigen cm bis dm in den „oberen“ Abschnitten (Biogenschutt A-C) und cm im „unteren“ Abschnitt (1 bis 13). Die „Grundmasse“ der Schichten 1 bis 13 bestehen aus Crinoidenschutt mit wechselnden Korngrößen. Der feine Schutt stammt vermutlich aus Schüttungen, die gröberkörnigen Crinoiden-Ablagerungen dürften über Schweb- oder Springtransport verlagert worden sein.

5.3 Lithifizierungsprozesse

Die Klassifizierung der Zemente ermöglicht es, ergänzende Aussagen über die Genese zu machen. Syntaxiale Zemente weisen auf eine marin-vadose Diagenese, radiaxiale-faserige Zemente auf eine marin-phreatische hin. Im meteorisch-phreatischen Bereich wurden blockige, drusige, syntaxiale Zemente gebildet. Unter meteorisch-vadoser Beeinflussung entstanden blockige Zemente und vadose Silte. Dieser Silt entstand durch Erosion von Kalzitkristallen faseriger Zemente oder durch chemische Lösungen mit anschließendem vadosem Durchsickern (DUNHAM, 1969; AISSAOUI & PURSER, 1983).

6 ZUSAMMENFASSUNG

- 1) Alter: untere *varcus*-Zone.
- 2) Orientierung des Blockes Co/02 von Schichtung 1 bis 23, entspricht (vermutlich) der stratigraphischen Abfolge.
- 3) Dominanz an Riffbildnern im Modalbestand der organischen Komponenten. Kein in situ Riff, sondern Riffschutt.
- 4) Große Komponenten, geringer Rundungsgrad, Fehlen von Mikro- und Makrobohrorganismen deutet auf schnelle Sedimentation und geringe Transportweite des Riffschutts hin.
- 5) Rasche Zementation im marin-phreatischen bis vadosen Bereich.

7 LITERATUR

AGER, D.V. (1974): Storm deposits in the Jurassic of the Moroccan High Atlas. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **15**, 83-93, 4 Abb., Amsterdam.

AISSAOUI, D.M., PURSER, B.H. (1983): Nature and origins of internal sediments in Jurassic limestones of Burgundy (France) and Fnoud (Algeria). - *Sedimentology*, **30**, 273-283, Amsterdam.

BIRENHEIDE, R. (1978): Rugose Korallen des Devon – In: ZIEGLER, W. (Hrsg.): Leitfossilien – 265 S. Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt am Main (Borntraeger).

BIRENHEIDE, R. (1985): Chaetetida und Tabulate Korallen des Devon – In: ZIEGLER, W. (Hrsg.): Leitfossilien – 249 S. Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt am Main (Borntraeger).

BRÜMMER, F., LEINFELDER, R., REINICKE, G. (1997): Die Korallenriffe unserer Meere: Faszinierende Lebensvielfalt und imposante Steingebäude. - In: STEININGER, F.F. & MARONDE, D. (Hrsg.): Städte unter Wasser – 2 Milliarden Jahre, 131-143, Frankfurt am Main.

BRÜMMER, F. & LEINFELDER, R. (1998): Heutige Korallenriffe - Biologie, Ökologie, Geologie und Verbreitung, in: LEINFELDER, R., KULL, U. & BRÜMMER, F. (Hrsg.): Riffe - ein faszinierendes Thema für den Schulunterricht.-Materialien für die Fächer Biologie, Erdkunde und Geologie, Profil, 13, 3-16, Stuttgart.

CHAYES, F. (1956): Petrographic modal analysis. – Wiley, 1-113, 15 Tab., New York.

COPPER, P. (2002): Silurian and Devonian reefs: 80 million years of global greenhouse between two ice ages. In: KIESSLING, W., FLÜGEL, E., GOLANKA, J. (Hrsg.): Phanerozoic reef patterns, 181 – 238, Tulsa.

CUMINGS, E. R. (1932): Reefs or Bioherms? – Geological Society of America Bulletin, **43**, 331-352, Boulder.

DANA, J. G. (1846): "Zoophytes". – In: United States exploring expedition during the years 1838-1842 under the command of CHARLES WILKES, V. S. N.: x+1-760, 61 Taf. (Atlas), Washington.

DUNCAN, P. M. (1872): Third report on the British fossil corals. – Report of the 41st Meeting of the British Association of Advanced Sciences of Edinburgh 1871, 116-137, Edinburgh.

DUNHAM, R.J. (1969): Early vadose silt in Townsend mound (reef), New Mexico. - In: Depositional environment in carbonate rocks -a symposium. - SEPM Special Publications, **14**, 139-181, Tulsa.

EICHWALD, C. E. von (1829): Zoologia specialis quam expositis animalibus tum vivis, tum fossilibus potissimum Rossiae in universum, et Poloniae in specie, in usum, lectionum. – 1: VI, 1-314, 5 Taf., Vilna.

FAGERSTROM, J.A. (1987): The evolution of reef communities. - John Wiley and Sons, New York.

FAGERSTROM, J.A. (1994): The history of Devonian-Carboniferous reef communities: extinction, effects, recovery. – Facies, **30**, 177-192, Erlangen.

FLÜGEL, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. 150-154, Berlin (Springer).

FLÜGEL, E. (1997): Riffe heute und früher. Die Entwicklung eines Ökosystems in der Geologischen Zeit. - In: STEININGER, F.F. & MARONDE, D. (Hrsg.): Städte unter Wasser – 2 Milliarden Jahre, 13-18, Frankfurt am Main (Waldemar Kramer).

FLÜGEL, E. (2004): *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application.* 1-976, Berlin – Heidelberg – New York (Springer Verlag).

FRECH, F. (1894): *Die Karnischen Alpen.* – 517 S., Halle (Max Niemeyer)

FÜCHTBAUER, H. (Hrsg.) (1988): *Sedimente und Sedimentgesteine (Sediment-Petrologie, Teil II).*- 4th Ausgabe – S. 1141, 660 Abb., 113 Tab., Stuttgart (Schweizerbart).

GINSBERG, R. N., LOWENSTAM, H A. (1958): The influence of marine bottom communities on the deposition environment of sediments. - *Journal of Geology*, 66, 310-318, Chicago.

HECKEL, P.H. (1974): Carbonate buildups in the geologic record: a review. – In: LAPORTE, L. (Hrsg.): *Reefs in time and space-* SEPM Special Publications, **18**, 90-154, Tulsa

HEMMING, N.G., MEYERS, W.J., GRAMS, J.C. (1989): Cathodoluminescence in diagenetic calcites: the roles of Fe and Mn as deduced from electron probe and spectrophotometric measurements. – *Journal of Sedimentary Petrology*, **59**, 401-411, Tulsa.

HERITSCH, F. (1943): *Die Stratigraphie der geologischen Formationen der Ostalpen. Das Paläozoikum.*- 681 S., 14 Abb., Berlin (Borntraeger).

HUBMANN, B., POHLER, S., SCHÖNLAUB, H.P., MESSNER, F. (2003): *Paleozoic Coral-Sponge Bearing Successions in Austria*, *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 19-45, Wien.

HUBMANN, B. & SUTTNER, T.J. (2007): Siluro-Devonian Alpine reefs and pavements. - In: ALVARO, J.J., ARETZ, M., BOULVAIN, F., MUNNECKE, A., VACHARD, D. & VENNIN, E. (Hrsg.): *Palaeozoic Reefs and Bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls.*- Geological Society of London Special Publications, **275**, 95-107, 6 Abb., London.

JOHNSON, J.G., KLAPPER, G., SANDBERG, C.A. (1985): Devonian eustatic fluctuations in Euramerica. - Geological Society of America Bulletin, **96**, 567-587, Boulder.

KAUFMANN, B. (2006): Calibrating the Devonian Time Scale: a synthesis of U-Pb ID-TIMS ages and conodont stratigraphy. Earth Science Reviews, **76**, 175-190, Amsterdam.

KERSHAW, S. & RIDING, R. (1978): Parameterization of stromatopoid shape. – Lethaia, **11**, 233-242, 14 Abb., Oslo.

KERSHAW, S. (1990): Stromatopoid Paleobiology and Thaphonomy in a Silurian Biostrome on Gotland, Sweden. – Palaeontology, **33/3**: 681 -705, 12 Abb.; 2 Tab.; London.

KERSHAW, S. (1994): Classification and Geological Significance of Biostromes. – Facies, **31**, 81-92, Erlangen.

KERSHAW, S. (1998): Stromatopoid palaeobiology and its applications in palaeoenvironment analysis. – Palaeontology, **41**, 509-544, London.

KLAPPER, G., PHILIP, G. M., JACKSON, J. H. (1970): Revision of the *Polygnathus varcus* Group (Conodonta, Middle Devonian). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte, **11**, 650–667, Stuttgart.

KÖNIGSHOF, P., GEWEHR, B., KORNDER, L., WEHRMANN, A., BRAUN, R., ZANKL, H. (1991): Stromatoporen Morphotypen aus einem zentralen Riffbereich (Mitteldevon) in der Südwestlichen Lahnmulde. – Geologica et Palaeontologica, **25**, 19-35, 6 Abb., 4 Taf., Marburg.

KÖNIGSHOF, P. & KERSHAW, S. (2005): Stromatopoid growth forms in reef facies in the Devonian of Morocco (West Sahara): palaeobiological and palaeoecological implications. - Facies, **52**, 299–306, Erlangen.

KREBS, W. (1969): Early void-filling cementation in Devonian fore-reef limestones. - *Sedimentology*, **12**, 279-299, 8 Abb., 1 Tab., Amsterdam.

KREUTZER, L.H. (1990): Mikrofazies, Stratigraphie und Paläogeographie des Zentralkarnischen Hauptkammes zwischen Seewarte und Cellon. - *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **133/2**, 275-343, Wien.

KREUTZER, L.H. (1992a): Photoatlas zu den Variszischen Karbonatgesteinen der Karnischen Alpen (Österreich/Italien). – *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, 1-129, Wien.

KREUTZER, L.H. (1992b): Palinspatische Entzerrung und Neugliederung des Devons in den Zentralkarnischen Alpen auf Grund von neuen Untersuchungen. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, **135/1**, 261-272, Wien.

LAMARCK, J. B. P. A. de M. de (1801): *Systeme des animaux sans vertebres.*, viii +1-432, Paris.

LAMARCK, J. B. P. A. de M. de (1816): *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres.*, 2 – 1-568, Paris.

LECOMPTE, M. (1970): Die Riffe im Devon der Ardennen und ihre Bildungsbedingungen. – *Geologica et Palaentologica*, **4**, 25-71, 20 Abb, 3 Tab, 4 Taf, Marburg.

LINDSTRÖM, G. (1873): *Nagra anteckningar om Anthozoa tabulata.* - Öfvers. Kongl. Vet.-Akad. Förhandl., **30/4**, 3-20, Stockholm.

LUCZYNSKI, P., (2003): Stromatoporoid morphology in the Devonian of the Holy Cross Mountains, Poland, and its palaeoenvironmental significance. *Acta Geologica Polonica*, **53/1**, 19-27, Warszawa.

MARTIN, H., ZEEGERS, H (1969): Cathodo-luminescence et distribution du manganèse dans les calcaires et dolomies du Tournaisien supérieur au Sud de Dinant (Belgique). - Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, **269**, Paris.

MILNE-EDWARDS, H., HAIME, J. (1849): Mémoire sur les polypies appartenant aux groupes naturels des Zoanthaires perforés et des Zoanthaires tabulés. - Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, **29**, 257-263, Paris.

MONTY, C. (1976): The origin and development of cryptalgal fabrics. - In: WALTER, M.R.: Stromatolites. - Developments in Sedimentology, **20**, 193-249, Amsterdam.

MÜLLER, A. H. (1993): Lehrbuch der Paläozoologie. Band 2. Invertebraten. Teil 1 Protozoa-Mollusca. - 685 S., Stuttgart (Gustav Fischer).

NICHOLSON H. A., MURIE. J. (1878): On the minute structure of Stromatopora and its allies. - Journal of the Linnaean Society, **14**, 187-246, London.

NIELD, E.W. (1986): Non-cryptic encrustation and pre-burial fracturing in stromatoporoids from the Upper Visby Beds of Gotland, Sweden. - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **55**, 35–44, Amsterdam.

OEKENTORP-KÜSTER, P., OEKENTORP, K. (1992): Rugose Korallenfaunen des Mittel- und Ober-Devons der zentralen Karnischen Alpen. - Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **135/1**, 233-260, 8 Taf., 3 Abb., 1 Tab., Wien.

ONOFRI, R., CARULLI, G.B. (1966): Il Friuli: I marmi della provincia di Udine. - Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura. - 126 S., Udine.

OTT, J. (1996): Meereskunde. Einführung in die Geographie und Biologie der Ozeane. – 422 S., Stuttgart (UTB).

PERRI, M.C. & SPALLETTA, C. (1998): Updating of the conodont biostratigraphy in the Carnic Alps (Italy). -- [In:] M.C. PERRI & C. SPALLETTA (Hrsg.): Southern Alps Field Trip Guidebook, ECOS VII. Giornale di Geologia, Special Issue, **60**, 116-119, Bologna.

PHILIP, G. M. (1965): Lower Devonian conodonts from the Tyers area, Gippsland, Victoria. – Proceedings of the Royal Society of Victoria, **79**, 97 – 117, Taf. 8-10, Melbourne.

PLAYFORD, P. E. (1980): Devonian "Great Barrier Reef" of Canning Basin, Western Australia. - AAPG Bulletin, **64**, 814-840, Tulsa.

PLUMLEY, W.J., RISLEY, G.A., GRAVES, R.W., KALEY, M.E. (1962): Energy index for limestone interpretation and classification. - In: HAM, W.E. (Hrsg.): Classification of carbonate rocks. – AAPG Memorial, **1**, 85-107, 5 Abb., 4 Taf., Tulsa.

POLLACK, W. (1962): Untersuchungen über Schichtfolge, Bau und tektonische Stellung des österreichischen Anteils der Eisenberggruppe im südlichen Burgenland. – Doktorarbeit, Universität Wien.

PRESS, F., SIEVER, R. (1995): Allgemeine Geologie. – 602 S., Heidelberg (Springer).

RASSER, M. W. & RIEGL, B. (2002): Holocene Coral Reef Rubble and its Binding Agents. - Coral Reefs, **21**, 57-72, Berlin Heidelberg.

REITNER, J. & NEUWEILER, F. (1997): „Mud Mounds“ Die ersten komplexen Riffsysteme. - In: STEININGER, F.F. & MARONDE, D. (Hrsg.): Städte unter Wasser – 2 Milliarden Jahre, 39-47, Frankfurt am Main.

RICHTER, D. K., ZINKERNAGEL, U. (1981): Zur Anwendung der Kathodolumineszenz in der Karbonatpetrographie. - Geologische Rundschau, **70/3**, 1276-1302, 2 Abb., 1 Tab., Stuttgart.

RIDING, R. (2002): Structure and composition of organic reef and carbonate mud mounds: concepts and categories. - Earth-Science Reviews, **58**, 163-231, Amsterdam.

RIEGL, B. & PILLER, W. E. (2000): Reefs and coral carpets in the northern Red Sea as models for organism - environment feedback in coral communities and its reflection in growth fabrics. — In: INSALACO, E., SKELTON, P.W. & PALMER, T.J. (Hrsg.): Carbonate Platform Systems: components and Interactions — Geological Society of London, Special Publications, **178**, 71-88, 8 Abb., London.

RUHRMANN, G. (1971a): Riff-ferne Sedimentation unterdevonischer Krinoidenkalke im Kantabrischen Gebirge (Spanien). - Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte, **1971/4**, 231-248, 12 Abb., Stuttgart.

RUHRMANN, G. (1971b): Riff-nahe Sedimentation paläozoischer Krinoiden-Fragmente. - Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, **138**, 56-100, Stuttgart.

SCHÖNLAUB, H.P. (1979): Das Paläozoikum von Österreich. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **33**, 43-61, Wien.

SCHÖNLAUB, H.P. (1985): Das Paläozoikum der Karnischen Alpen. In: Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 1985. – Geologische Bundesanstalt, 34 – 52, Wien.

SCHÖNLAUB, H. P. (1992): Stratigraphy, Biogeography and Paleoclimatology of the alpine Paleozoic and its Implications for Plate Movements. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **135**, 381-418, Wien.

SCHÖNLAUB, H.P. & HUBMANN, B. (2002): Die Cellonetta-Lawinenrinne und die Pflanzenfundpunkte der Kronalpe (Karnische Alpen).- In: HUBMANN, B. (ed.): 9. Jahrestagung der Österreichischen Paläontologischen Gesellschaft.- Berichte Institut für Geologie und Paläontologie, K.-F.-Universität Graz, **6**, 20-44, Graz.

SCHÖNLAUB, H.P., HISTON, K & POHLER, S. (2004): The Paleozoic of the Carnic Alps. – In SCHÖNLAUB, H.P. (Hrsg.): Field Trip Carnic Alps Guidebook, Berichte Geologische Bundesanstalt, 46-47, Wien.

-
- SCHUHMACHER, H. (1976): Korallenriffe. - BLV Verlagsgesellschaft, München.
- SCOFFIN, T.P. (1993): The geological effects of hurricanes on coral reefs and the interpretation of storm deposits. – *Coral Reefs*, **12**, 203-221, Berlin-Heidelberg.
- SIPPEL, R. F., GLOVER, E.D. (1965): Previously unobservable structures in carbonate rocks made visible by luminescence petrography. – *Science*, **150**, 1283-1287, New York.
- SMITH, J.V., STENSTROM, R.C. (1965): Elektron-exited luminescence as a petrologic tool. – *Journal of Geology*, **73**, 627-635, Chicago.
- STEININGER, J. (1831): Bemerkungen über die Versteinerungen, welche in dem Übergangskalkgebirge der Eifel gefunden werden. - 1-44, Trier.
- VENTURINI, C. & SPALLETTA, C. (1998): Remarks on the Palaeozoic stratigraphy and the Hercynian tectonics of the Palaeocarnic Chain (Southern Alps). - IN: PERRI AND C. SPALLETTA (eds.): Southern Alps Field Trip Guidebook, ECOS VII. *Giornale di Geologia, Special Issue*, **60**, 69-88, Bologna.
- VENTURINI, C., PONDRELLI, M., FONTANA, C., DELZOTTO, S., DISCENZA, K. & VAI, G.B. (2002): Carta Geologica della Alpi Carniche (Geological map of the Carnic Alps) 1: 25.000 Scale Map, Western sheet. - Museo Friulano di Storia Naturale, Udine.
- VINASSA DE REGNY, P. (1918) - Coralli mesodevonici della Carnia - *Palaeontographia Italica*, 59-120, Taf. VI-XII [I-VII], Pisa.
- WILSON, J.L. (1975): Carbonat Facies in the Geological History. - Springer Verlag, 471 S, Berlin-Heidelberg-New York.
- WOOD, R. (1999): Reef evolution. - 418 S., Oxford (Oxford University Press).
- ZIEGLER, B (1991): Einführung in die Paläobiologie, Teil 2. Spezielle Paläontologie: Protisten, Spongien und Coelenteraten, Mollusken. – 409 S., Stuttgart (Schweizerbart).

8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Aufschlusssituation	2
Abbildung 2: Geologische Übersichtskarte.....	5
Abbildung 3: Beispiel einer Schablone mit der Größe 20 x 30 cm.....	6
Abbildung 4: Beispiel für eine Folie mit Raster 1 x 1 cm.....	7
Abbildung 5: Stratigraphische Tabelle der Karnischen Alpen.....	9
Abbildung 6: Überblickskarte von Paläozoischen „Riffstrukturen“ aus Österreich. ...	13
Abbildung 7: Rifftypen	19
Abbildung 8: Hauptriffbildner in der Erdgeschichte.....	22
Abbildung 9: Verteilung der Standardmikrofaziestypen	23
Abbildung 10: Globale Verbreitung von Riffen im späten Mitteldevon	31
Abbildung 11: Prozentuelles Verhältnis der Cnidaria und Porifera	34
Abbildung 12: Aufsicht des Blockes Co/02.	46
Abbildung 13: Verteilung der Organismen-Häufigkeiten.....	49
Abbildung 14: Stromatoporen Morphotypen	50
Abbildung 15: Seriales Querschnittschema durch d. Polypar einer rugosen Koralle	53
Abbildung 16: Ausschnitt aus der Devonischen Zeitskala	65
Abbildung 17: Säulenprofil der Sedimente und Hydrodynamik.....	70
Abbildung 18: Schematische Darstellung der Folien A, B, C.	86

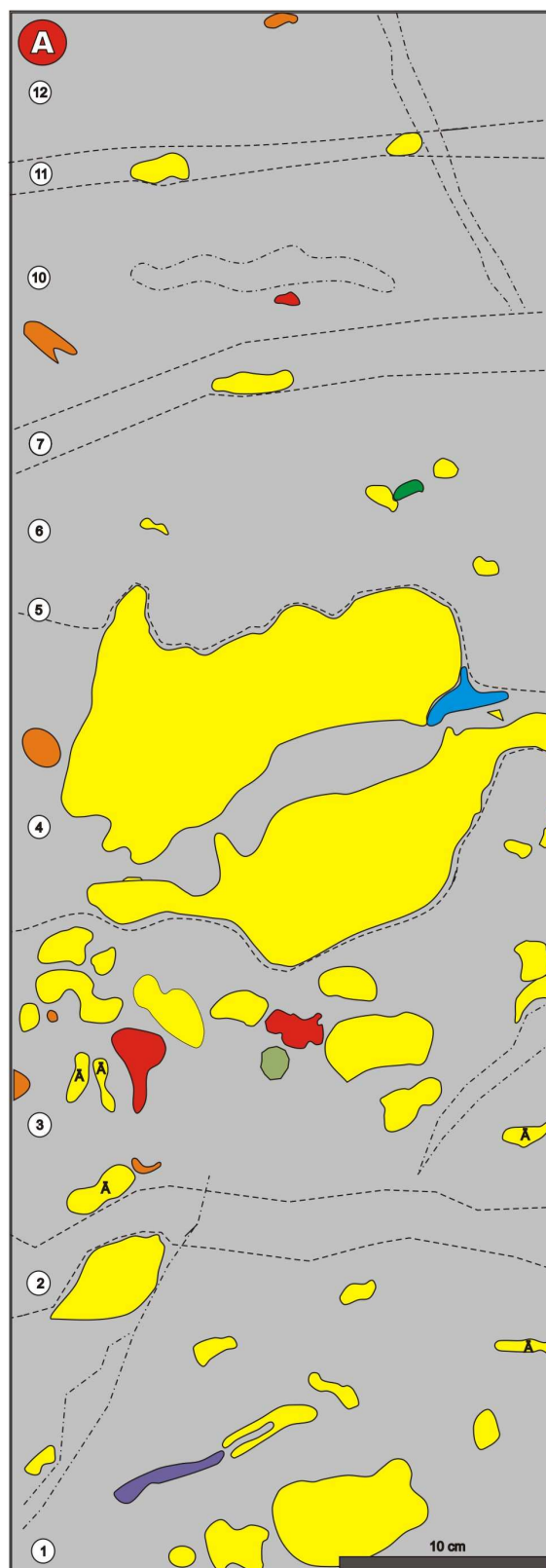
9 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Genetisches Modell für Ablagerungen	30
Tabelle 2: Prozentueller Anteil der Organismen auf Folie A, B, C mit <i>Analysis</i>	33
Tabelle 3: Urliste der Point-Counter Zählung.....	35
Tabelle 4: Prozentuelle Anteile der Organismen.	36
Tabelle 5: Auswertung der Proben aus dem Block Co/02	38
Tabelle 6: Auswertung der Proben aus dem Hangschutt	40
Tabelle 7: Zementtypenklassifizierung	45

10 TAFELVERZEICHNIS

Tafel 1: Mikrofazies	41
Tafel 2: Stromatoporen.....	52
Tafel 3: Rugose Korallen (1).....	54
Tafel 4: Rugose Korallen (2).....	55
Tafel 5: Favositen	57
Tafel 6: Thamnoporen	58
Tafel 7: Alveoliten	60
Tafel 8: Helioliten.....	61
Tafel 9: Chaetetiden	62
Tafel 10: Zemente (1)	66
Tafel 11: Zemente (2)	67
Tafel 12: Zemente (3)	68
Tafel 13: Wachstumsunterbrechungen von Zementkristallen.....	69
Tafel 14: Transect durch einen Hohlraum.....	87

11 ANHANG



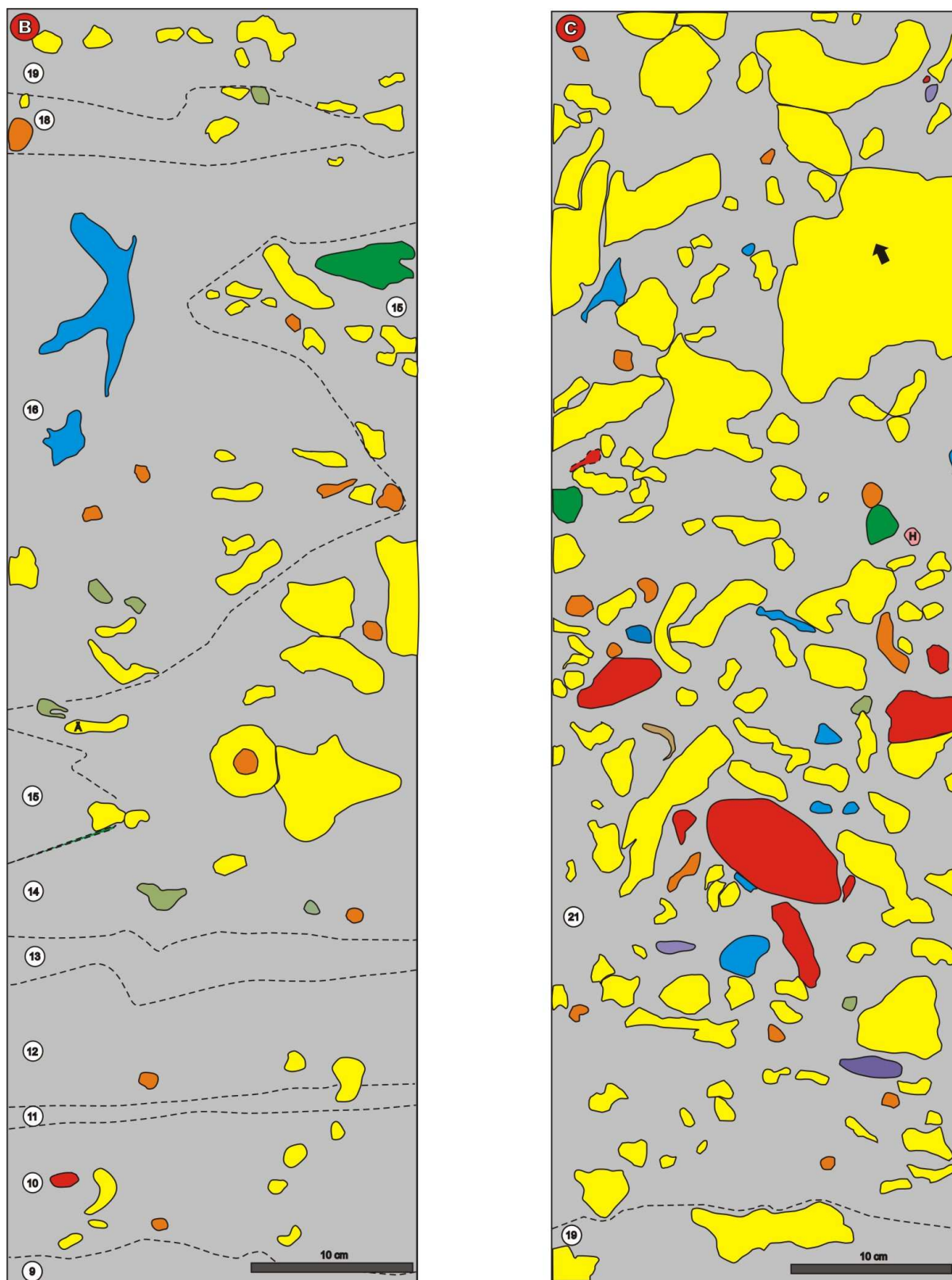
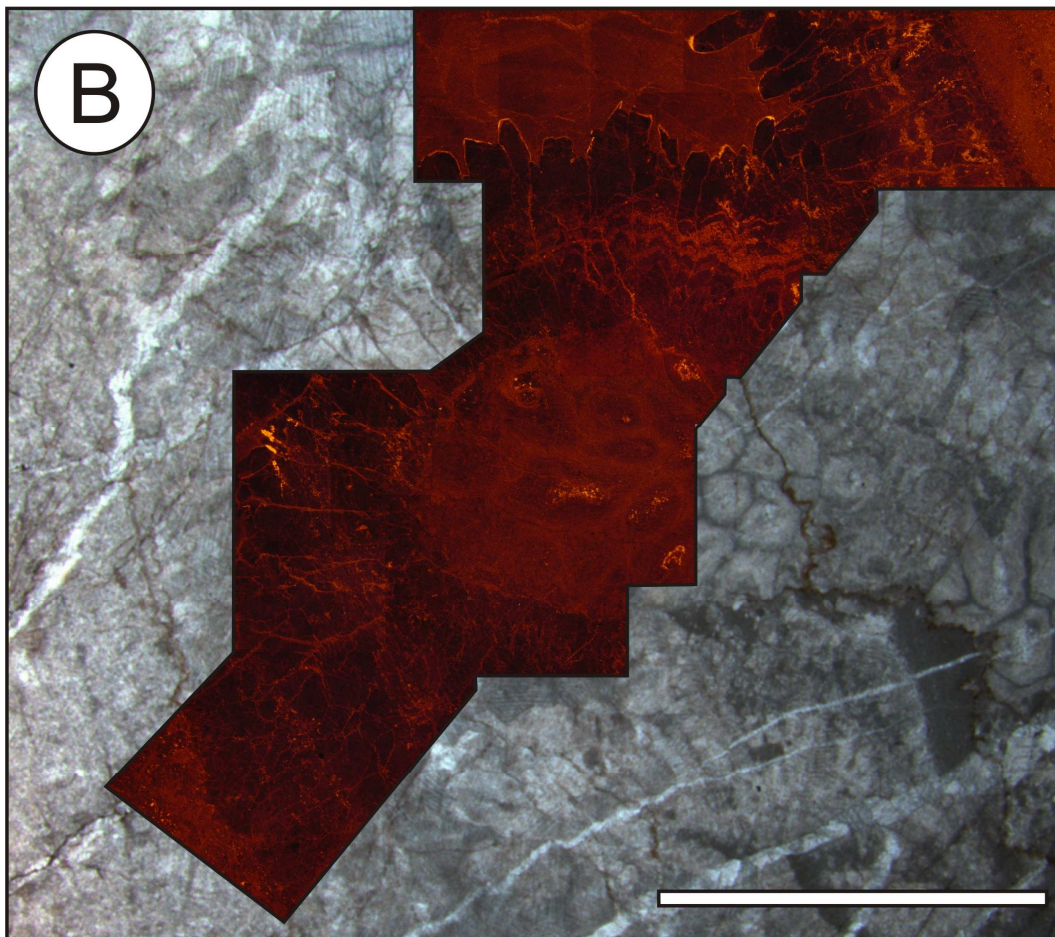
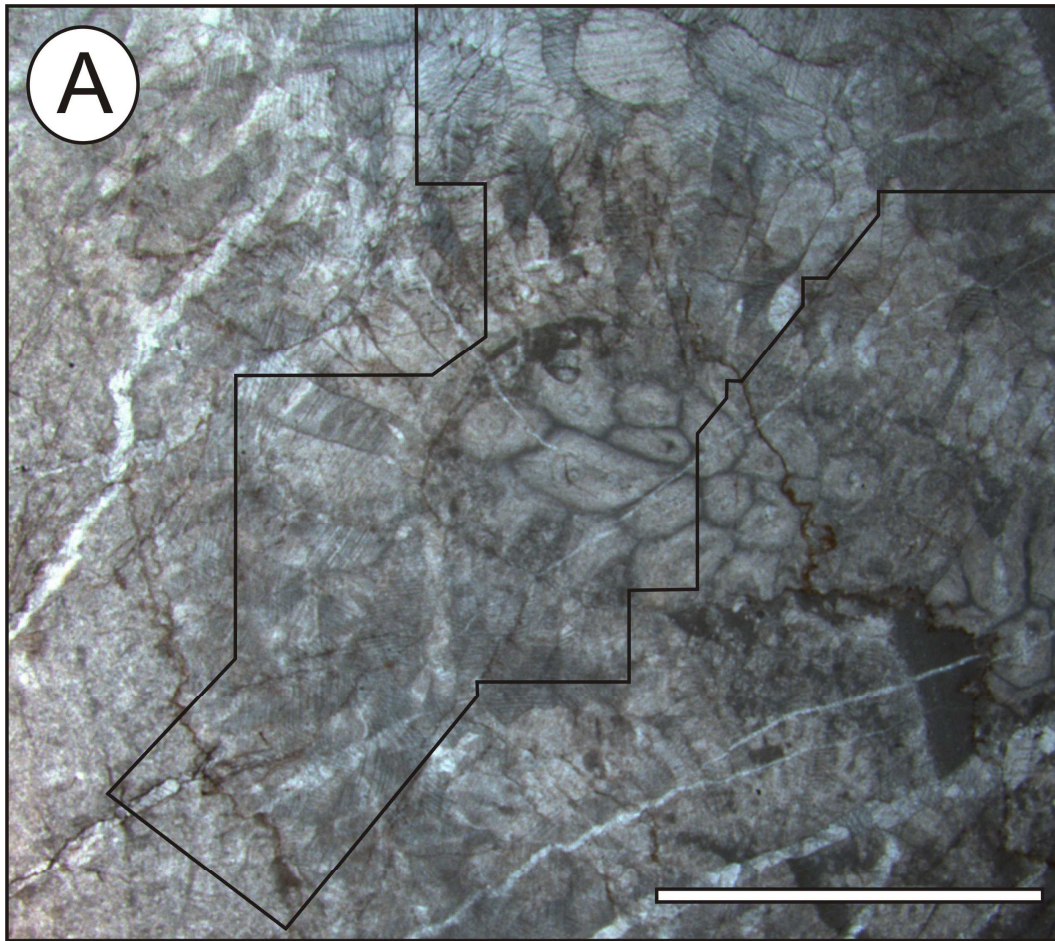


Abbildung 18: Schematische Darstellung der Folien A, B, C. Schichten strichliert mit weiß unterlegten Nummern. Farbindex: 1. Stromatoporen (massive oder ästige (Ä) Morphotypen); 2. Rugose Korallen; 3. Caunoporen; 4. Alveoliten; 5. Favositen; 6. Helioliten; 7. Thamnoporen; 8. Brachiopoden; 9. Zemente; 10. Crinoidenschutt bzw. „Grundmasse“. Eine Fotodarstellung erläutert die Lage der Folien auf Block Co/02.



Tafel 14: Transect durch einen Hohlraum – Vergleich Durchlichtbild (A) und KL-Aufnahme (B).

A + B: Beachte Thamnoporide Koralle im Zentrum und Aufwuchs eines radiaxial faserigen Zementes.

Mehrere Zementgenerationen (siehe linker unterer Quadrant) werden erst im KL-Bild sichtbar.

Blockige Zemente füllten in der letzten Phase den verbliebenen Hohlraum aus; Maßstab 5 mm.