

## Zur Stratigraphie, Fazies und Geochemie des Schwarzen-See-Marmors (Lias, Schafberg-Tirolikum, Oberösterreich)

BEATRIX MOSHAMMER\*) & MANFRED LEUPRECHT\*\*)

1 Abbildung, 1 Tabelle und 9 Tafeln

*Oberösterreich  
Nördliche Kalkalpen  
Lias  
Kalkbrekzie  
Mikrofazies  
Stratigraphie  
Geochemie  
Dekorstein*

*Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blatt 65*

### Inhalt

Zusammenfassung .....	79
Abstract .....	80
1. Einleitung .....	80
2. Allgemeines .....	80
2.1. Geographische Lage .....	80
2.2. Regionale Geologie und Literaturhinweise .....	80
3. Beschreibung und Geschichte des Steinbruches .....	81
4. Umfang und Inhalt der geologischen Untersuchungen .....	81
5. Stratigraphische Abfolge der brekziierten Sedimente .....	81
5.1. Rhätolias-Riffkalk (sensu FABRICIUS, 1959) .....	81
5.2. Hierlatzkalk (TOLLMANN, 1976, S. 319; FABRICIUS, 1966, S. 44 etc.) .....	82
5.3. Roter spikulitischer Kalklutit C) .....	83
5.4. Dunkelroter bis schwarzer, Fe-Mn-gefärbter Kalklutit D) .....	83
6. Zeitliche Eingrenzung der Brekziierungsphasen des Schwarzen-See-Marmors .....	85
6.1. Unterscheidbare Diagenesefortschritte der beteiligten Sedimente .....	85
6.2. Zeitliche Eingrenzung der Brekziierungsphasen des Schwarzen-See-Marmors .....	86
6.3. Begründungen .....	86
7. Chemische Untersuchung .....	87
Tafeln 1-9 .....	88
Literatur .....	106

### Zusammenfassung

Der „Schwarzen-See-Marmor“ – eine Brekzie mit hohem Zerlegungs- bzw. Zertrümmerungsgrad und aus diesem Grunde außergewöhnlichem Gefüge in den sehr lebhaften Sedimentfärbungen.

Die seit alters als Dekorstein verwertete Kalkbrekzie des kleinen Steinbruches am Schwarzen-See wurde auf eine ermittelbare stratigraphische Abfolge der beteiligten Sedimente untersucht, weiters auf mikrofazielle Merkmale, biostratigraphische Anhalte sowie auf eine mögliche Unterscheidung von Brekziierungsphasen. Es kann ein weitgehend vollständiges stratigraphisches Profil erstellt werden. Biostratigraphisch einzustufen ist allerdings nur der untere Abschnitt. Aufgrund der Diagenesefortschritte und Lithifizierungsgrade der eingebundenen Sedimente konnte, das triassische Schichtglied ausgenommen, eine synsedimentäre Zerlegung des Sedimentstapels während einer Hauptphase der Brekzierung („Hauptbrekziierungsphase“) und eine nachfolgende, in einer postsedimentären Sprödpase („Sprödbrekziierungsphase“) erfolgte reine Zerbrechung der voll lithifizierten, brekziierten Gesamtabfolge ermittelt werden.

Die geochemische Untersuchung ergibt, entsprechend der lithologischen Heterogenität der Brekzie, eine Variation im Chemismus, die von einem ziemlich reinen Kalkstein (>96 % CaCO<sub>3</sub>) bis zu durch Eisen und Mangan angereicherten, untergeordnet auftretenden kalziumkarbonatärmeren Kalkabschnitten reicht.

Die beiden jüngsten Schichtglieder der in dieser Abhandlung zusammengestellten stratigraphischen Abfolge konnten nicht mit eingeführten kalkalpinen stratigraphischen Begriffen korreliert werden, weshalb die unten stehenden Begriffe verwendet und im Text häufig mit C und D abgekürzt werden.

\*) Dr. Beatrix MOSHAMMER, Geologische Bundesanstalt, Fachabteilung Rohstoffgeologie, Neustiftgasse 38, A 1030 Wien.

\*\*) Dr. Manfred LEUPRECHT, Universität Innsbruck, Institut für Geologie und Paläontologie, Innrain 52, A 6020 Innsbruck.

## Abstract

The "Schwarzenseemarmor" – a breccia with a high degree of decomposition or smashing and therefore an exceptional fabric in the lively sediment colours.

The calcareous breccia, which has been extracted from time immemorial as an ornamental dimension stone at the small quarry at lake Schwarzensee was investigated with regard to its stratigraphical succession. Its microfacies characteristics, biostratigraphical data as well as a possible distinction of stages during the brecciation were examined. It is possible to set up a quite complete stratigraphic sequence. However only the lower part is biostratigraphically determinable. Based on the diagenetic progresses and the degrees of the lithification of the involved sediments it was possible, in excluding the triassic layers, to distinguish between a main period of the brecciation with a syndimentary disintegration of the sequence ("Hauptbrekzierungsphase") and a following postsedimentary brittle phase ("Sprödbrekzierungsphase"), when a pure break up of the wholly lithified and already brecciated overall sequence took place.

The geochemical analyses show a variation from a rather pure limestone (>96 % CaCO<sub>3</sub>) to subordinately exposed limestone parts enriched in iron and manganese and depleted in calciumcarbonate.

## 1. Einleitung

Der für Werksteingewinnung angelegte kleine Steinbruch im Talschluss nördlich des Schwarzensees schließt an gesägten Wänden eine massig wirkende Kalkbreckie auf, die aufgrund ihrer lebhaften Farben und Strukturen als Dekorstein in der Geschichte mehrfach Verwendung fand und bis heute als Rarität in kleinem Maßstab und, wegen ihrer Zerbrechlichkeit, sehr behutsam abgebaut wird.

Gefüge, Lithologie und Stratigraphie der an der Breckie beteiligten Sedimente werden anhand der Aufnahme der Steinbruchwände und zahlreicher mikrofaziell, sedimentologisch und biostratigraphisch untersuchter Proben beschrieben. Die Untersuchungsergebnisse werden für eine Interpretation hinsichtlich des Ablaufes der Brekzienbildung verwendet.

Für einzelne Abschnitte der stratigraphischen Abfolge wird anhand ausgewählter Proben die chemische Zusammensetzung in Form von Haupt-, Neben- und ausgewählten Spurenelementen dargestellt.

Die Einbindung der Geologie des Steinbruches in die umgebenden geologischen Verhältnisse wurde nicht untersucht. Die Untersuchungsergebnisse werden daher mit der vorhandenen Literatur verglichen.

## 2. Allgemeines

### 2.1. Geographische Lage

Das anhand eines Steinbruch-Aufschlusses beschriebene Vorkommen liegt in einer Mulde zwischen dem Schafberg-Massiv (1782 m) im Westen und dem Gebirgszug zwischen dem Ischl-Tal und der Mitterweißenbachfurche im Osten. Der nach Süden in den Schwarzensee entwässern-

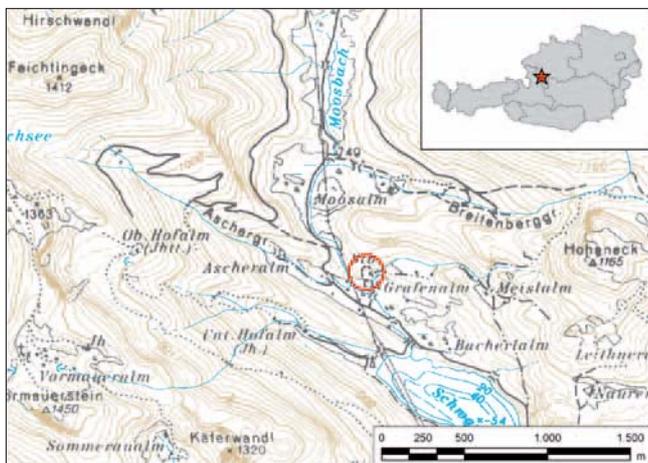


Abb. 1.  
Geographische Lage des Steinbruches.  
Ausschnitt der ÖK 50, Blatt 65 Mondsee.  
©BEV-2005, vervielfältigt mit Genehmigung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. EB 2005/00488.

de Moosbach durchschneidet zwischen der Moosalm (750 m) im Norden und der Grafenalm (725 m) im Süden einen vom Hoheneck (1165 m) nach Westen herabziehenden bewaldeten, niedrigen Rücken, der etwa 500 m breit ist und gegen Süden eine ca. 20 m hohe Felschwelle bildet. Direkt östlich des hier vorkommenden Wasserfalles (alter Flurname Straubing) befindet sich der Steinbruch.

### 2.2. Regionale Geologie und Literaturhinweise

Die regionale Geologie kann den geologischen Karten dieses Gebietes entnommen werden:

- Geologische Karte des Wolfgangseegebietes 1 : 25.000 (PLÖCHINGER, 1972; Erläuterungen 1973).
- Geologische Karte 1 : 50.000, Blatt Mondsee (VAN HUSEN, 1989).
- Literatur u.a.: PLÖCHINGER (1973); BÖHM (1992).

Die obertriassisch-jurassische Schichtfolge gehört dem WNW–ESE-streichenden Schafberg-Tirolikum an (PLÖCHINGER, 1973), das hier den nördlichen Teil des Staufenhöllengebirgs-Deckensystems bildet. In den weiträumig verbreiteten obertriassischen Plattformkarbonaten bildet die unter- und mitteljurassische Schichtfolge vorwiegend tektonisch begrenzte, WNW–ESE-streichende Muldenreste. Das untersuchte Vorkommen liegt innerhalb der ca. 7 km langen Schafberg-Synklinale (PLÖCHINGER, 1973, Tafel 1, und Tafel 2, Profil 1).

Der in 2.1. angesprochene niedrige Rücken zwischen den mit quartären Sedimenten bedeckten Almen besteht nach PLÖCHINGER (1973) aus „Lias-Crinoiden- und Brachiopodenkalk“, zusammengefasst mit „hellem und massigem Rhät-Liaskalk“. Der Steinbruch liegt in einem schmalen, 60 m breiten Streifen, der südlich dieses „hellen und massigen Rhät-Liaskalkes“ folgt, der von PLÖCHINGER als sedimentär brekziöses Gestein beschrieben wird, das sich aus „wenig gerundeten Komponenten aus dichtem rotem Liaskalk, Crinoidenkalk, Spongienkalk und Obertriaskalk“ zusammensetzt und als „bunter Mittelliasalk“ bezeichnet wird (in der Karte als „bunte Liaskalke [Enzesfelder Kalk, Adneter Kalk], bunte Mittellias-Doggerablagerungen i.a.“ zusammengefasst). Der geologischen Karte nach wird dieser nur wenig mächtige „bunte Mittelliasalk“ im Streichen durch kurze Abschnitte aus „Liasfleckenmergel, grauem Crinoidenkalk, grauem Sandkalk mit Plagiostomen“ vertreten. Wo glaziale bis rezente Ausgestaltung und Ablagerungen fehlen, bilden diese „Liasfleckenmergel etc.“ hangaufwärts den schmalen südlich anschließenden Streifen und werden selbst vom wesentlich weiter verbreiteten „Lias-spongienkalk mit Übergängen zum Crinoidenkalk, Hornsteinknollenkalk“ gefolgt. Im Bereich des Steinbruches bildet die Breckie eine Wandstufe, die nach Süden direkt unter die quartäre Bedeckung abtaucht, ohne noch von Liasfleckenmergel oder Liasspongienkalk überlagert zu werden.

Die Zusammensetzung der Brekzie deckt sich im Wesentlichen gut mit den in der Region kartierten Gesteinen. In der Literatur wird der Schwarzensee-Marmor nur sehr kurz angesprochen, auf die an der Brekzie beteiligten Sedimente wird nicht näher eingegangen, und BÖHM (1992) erwähnt lediglich die gesägten Wände mit den dort sichtbaren Anlagerungsgefügen, „die eine dauernde Kippung der Scholle nach Norden während der Sedimentation belegen. Der Aufschluß ist Teil eines schmalen Rotkalkstreifens, der vom Schafberg nach Osten zieht.“

### 3. Beschreibung und Geschichte des Steinbruches

Der kleine, im Wald versteckte Steinbruch wurde zwischen 725 und 750 m über NN in der natürlichen Felschwelle angelegt und hat eine Abbaulänge von ca. 35 m. Das Gestein wird stufenweise mittels Säge abgebaut. Der schrägen, abgestuften Abbauwand ist ein Schuttfächer aus Abraum vorgelagert, der auch als Transportrampe dient (Taf. 6, Fig. 5).

Der Steinbruch wurde vom Natursteinwerk B. STELLER in Linz ungefähr zwischen 1940 und 1985 betrieben. Die jetzigen Ausmaße gehen noch auf diesen Abbau zurück. Obwohl damals auch eine Seilsäge und ein Rüttelsieb installiert waren, fand die Gewinnung vorwiegend mittels Loch-an-Loch-Bohrweise statt, der Rest wurde gesprengt. Mittels Loch-an-Loch-Abbohrungen wurde auch die nordwestlichere von zwei weiteren kleinen Abbaustellen geschaffen (ca. 10 x 5 x 5 m), welche sich, 70 m vom heutigen Steinbruch nach Nordwesten versetzt, auf 755 m über NN befinden. Das polierte Material ging als „Schwarzensee-Marmor“ in den Handel und wurde nicht nur innerhalb der Region (z. B. Pfarrkirche in Pfandl bei Bad Ischl), sondern z. B. auch im Wiener Burgtheater verwendet (Taf. 6, Fig. 8).

Auf einen historischen Abbau geht die zweite kleine nordwestliche Entnahmestelle zurück (4 x 5 x 5 m), an deren Wänden nur mehr undeutliche Schrämspuren auszumachen sind. In der Literatur ist festgehalten, dass die Steingewinnung mit Unterbrechungen seit der Barockzeit besteht. Während des Barock wurde das Gestein z. B. für die Stiftskirche Mondsee und die Pfarrkirche Irrsdorf sowie das Stift St. Florian verwendet (KIESLINGER, 1964; GBA-Archivunterlagen). Gegen Ende des 19. Jahrhunderts belegen u. a. ein Muster bei der Wiener Weltausstellung 1873, wo dieses Gestein als „Straubinger Marmor“ nach dem alten Flurnamen bezeichnet wurde (K. K. GEOLOGISCHE REICHSANSTALT, 1873), und die Sophien-Gedenktafel in Bad Ischl (Esplanade) erneute Gewinnung.

Beim gegenwärtigen, sporadisch betriebenen Abbau durch die Fa. KIENESBERGER, die auf B. STELLER folgte, werden Rohblöcke und Quader von ca. 80 t mittels Diamantseiltechnik gesägt und für den Transport auf eine Größe von ca. 4 m<sup>3</sup> (ca. 13 t) zugeschnitten. Das ohne Abraum gewonnene, gesamte Material wird sehr schonend zu Platten, Massivarbeiten (z. B. Taf. 6, Fig. 7) und Profiltteilen vorwiegend für die Innenarchitektur verarbeitet (z. B. Restaurierungsarbeiten Schloss Aulolz münster im Innviertel). Im Steinbruch wurden dabei in den zuvor schrägen oder durch die frühere Abbautechnik niedrig gestuften Wänden zwei große glatte Stufen geschaffen (2–3 m breit, meist 7 m hoch, die tiefere ca. 5 m lang im westlichen Bereich, die höhere von >10 m Länge von West nach Ost durchgehend) und dort zu einer Plattform erweitert (Taf. 6, Fig. 5). Die verwitterungsbedingt innerhalb von drei Jahren bereits schwarz überzogenen Wände ließen beim gegenwärtigen Abbaustand einen Einblick nur im Ostteil des Bruches zu (Taf. 6, Fig. 6). Zur vorliegenden Bearbeitung wurden in erster Linie Probenmaterial aus diesem Bereich

sowie die Aufschlüsse dieser frischen Wände und Blöcke ausgewertet (Taf. 7, Fig. 1 u. 2).

## 4. Umfang und Inhalt der geologischen Untersuchungen

- Sedimentologie, Stratigraphie und Biostratigraphie; mikrofaziale Merkmale der an der Brekzie beteiligten Sedimente (Kap. 5).
- Versuch der zeitlichen Eingrenzung der Brekzierungsphasen, u. a. mit Hilfe der Ermittlung der Diagenesestadien der eingebundenen Sedimente (Kap. 6).
- Geochemische Charakterisierung ausgewählter Proben (Kap. 7).

## 5. Stratigraphische Abfolge der brekzierten Sedimente

Es wird die stratigraphische Abfolge der am so bezeichneten „Schwarzensee-Marmor“ beteiligten Sedimente zusammengestellt und erläutert. Soweit im Steinbruch zugänglich, ist sie vollständig. Die Erläuterungen schließen Lithologie, Mikrofazies, Mikro- und Makrofossilinhalt und biostratigraphische Verwertbarkeit ein.

### 5.1. Rhätolias-Riffkalk (sensu FABRICIUS, 1959)

[strat. Profil: (1) Rli]

Typischerweise hell- bis mittelgraues („sandgraues“), häufig schwach gelblich oder grünlich unterlegtes, calcilitisches Gestein, in dem bereits mit der Lupe gut „glasige“, große Foraminiferen und andere karbonatische Komponenten sichtbar sind.

Ursprünglich Oosparit, Wackestone. Deutlich erkennbar ist eine angesetzte und wieder abgebrochene Ooidbildung (Taf. 2, Fig. 3). Da und dort Ansammlungen größerer Biogene, vor allem zerfallender Korallenreste. Der fortgeschrittene Zerfall bewirkt dichte Ansammlungen von „Korallensand“-Komponenten in der Umgebung der Biogene (Taf. 2, Fig. 1). Partienweise wird sparitische Matrix durch späteren mikritischen Eintrag überprägt. Deutlich erkennbarer Wechsel im Ablagerungsmilieu: Noch gut sichtbar die angesetzte und abgebrochene Ooidbildung und der Übergang in Aggregatkornfazies, letztere mit großen Kornaggregaten in verschiedenen Bildungsphasen (Taf. 2, Fig. 5). Ooide und sonstige Biogene werden dabei in die Kornaggregate einbezogen. Mit dem Milieuwechsel verbunden eine verstärkte Mikritisierung im Randbereich der Karbonatkomponenten. Kerne der meist einschaligen, radialstrukturierten Ooide sind häufig große Involutiniden (*Triasina*, *Aulotortus*, *Angulodiscus* der hinlänglich bekannten Arten, Taf. 2, Fig. 4). Viel seltener sind Glomospiren (Taf. 2, Fig. 6).

Blockige Rekristallisation, eventuell nach Lösungsvorgängen, sowie randliche Mikritisierung verwandeln die Ooidkerne meist in „Phantome“, doch bleiben viele der typischen Foraminiferenformen gerade durch die mikritisierten Randpartien dennoch recht gut kenntlich.

Längere Perioden mit unbedeckten oder nur unzulänglich aufsedimentierten Oberflächen, die auf ihnen zerfallende oder noch aus dem Schlamm ragende Biogene charakterisieren, sind ein sehr typischer Eindruck dieses tiefsten Ablagerungsabschnittes (Taf. 2, Fig. 1).

In der Brekzie stellt das Gestein kleine und sehr große Komponenten, welche Letztere es auf den geschnittenen Wandflächen leicht auf geschätzte 2–3 m<sup>2</sup> bringen (siehe Taf. 7, Fig. 1 und Fig. 2). Keinerlei Hinweis auf anderes als

im Feststadium des Gesteins erfolgtes Einbezogenwerden in die Brekzierung (im Gegensatz zu den jüngeren und jüngsten Sedimenten)! In tieferen Abschnitten der Brekzie können große Komponenten dieses Gesteins weit überwiegen. Aufgefallen sind dabei mächtige winklige oder leicht gebogene Störungen in solchen Abschnitten, in deren Umfeld kalzitisch oder durch Sedimentmatrix verheiltes Kleinmaterial konzentriert ist, so etwa zerbrochene Spaltenkalzite, kleine Komponenten, feineres Zerreibsel etc., alles buntest vermischt.

Zu den Spalten des Rhätolias-Riffkalkes und ihren Füllungen siehe unten!

## 5.2. Hierlatzkalk

(TOLLMANN, 1976, S. 319; FABRICIUS, 1966, S. 44 etc.)

[strat. Profil: (2) H, siehe dazu auch (3) HZM]

Am Schwarzenseeemarmor beteiligt ist ein lithologisch durchaus typischer Hierlatzkalk, wengleich einer mit wechselndem Verhältnis zwischen Echinodermenschutt und lutitischer roter Matrix. Er umfasst alle Übergänge, von beachtlichen Anteilen reinen Crinoidensandes einerseits (mit Kornkontakt, Zementrinden und roten Restporenraumfüllungen) bis hin zu locker besetztem Crinoiden-Biomikrit andererseits (Taf. 2, Fig. 7; Taf. 3, Fig. 1).

Reiner Crinoidensand (samt eingeschlossenen anderen Biogenen) scheint erhöhte  $\text{CaCO}_3$ -Konzentrationen zu bewirken und bald zementiert zu werden. Restporen und größere Resthohlräume können pigment- oder von Feinsteintrag gefüllt oder (intern-)sedimentiert oder von mehreren Zementgenerationen, im gegenständlichen Fall von auffallenden, dicken radialfibrösen Auflagen sowie einer blockigen Resthohlraumzementierung verschlossen sein (Taf. 3, Fig. 2, 3). Bei unvollständig zementierten und wieder in Bewegung geratenen Crinoidensanden ergibt dies oft sehr komplexe, schwer durchschaubare Strukturen.

Als Charakteristikum dieses Hierlatzkalkes bezeichnen lässt sich, dass der Wechsel im oben angesprochenen Verhältnis bis hin zu größeren crinoidenfreien, meist satter roten lutitischen Anteilen reichen kann, die, wengleich nie sehr dicht, fast durchwegs Kieselschwammnadeln enthalten.

Alles das verleiht diesem Hierlatzkalk sein typisches lithologisches Gepräge. Er ist ein helles, etwas milchig weißes, dabei immer zumindest blass rot unterbrochenes oder rötlich vermisches, unterschiedlich spätiges, von größeren, gedämpft bis kräftig roten, nicht spätigen, unregelmäßigen Partien aufgelockertes Gestein. Festgestellt werden konnte übrigens, dass der Crinoidenschutt vor allem im Hierlatzkalk selbst, wo der in frühen, dem Gefüge nach plastischen Stadien aufgegangen war (Taf. 3, Fig. 4), auch als Kluft- und Spaltenausfüllungen, später sogar als Brekzienkomponentenmatrix fungieren kann (Taf. 3, Fig. 5, 6).

Vorweggenommen sei, dass im Zuge sich anbahnender Änderungen der Sedimentationsverhältnisse zunächst noch die Ablagerung des Hierlatzkalkes selbst diskontinuierlicher verläuft, was schließlich durch einen Wechsel mit diskordant aufsetzenden dünnen Lagen eines roten, stets spikulitischen feinen Kalklutites, C, noch gesteigert wird. Ersichtlich daraus nicht nur der bevorstehende Sedimentationsumschwung und die Änderung der Sedimentationsverhältnisse, sondern auch Bewegungen wie Zusammenleitungen, Rutschungen und dgl. der nicht lithifizierten Sedimente aus sich verstärkenden tektonischen Einflüssen (Taf. 4, Fig. 8). Im stratigraphischen Schema-Profil ist diese Situation eingezeichnet und in der Legende als (3) HZM eigens festgehalten.

Der solcherart sich ankündigende Sedimentationsumschwung ändert indes am lithologischen Gepräge dieses aus weißen Echinodermenspatkalken wie Echinodermen

führenden bis fast echinodermenfreien roten Kalklutiten zusammengesetzten Hierlatzkalkes nichts.

Von den reinen Crinoidenkalkanteilen abgesehen, ist der typische Hierlatzkalk dieses Aufschlusses, mikrofaziell betrachtet, ein in Abständen von schmalen durchlaufenden oder auch nach der Seite hin bald wieder unterbrochenen pelsparitischen Feinlagen („Zeilen“, siehe Spaltenfüllung Taf. 2, Fig. 2) durchsetzter, fein pelmikritischer, nicht bioturbater Kalk mit überall dominierenden Echinodermen (überwiegend Crinoidendetritus) und mit einer charakteristischen restlichen Fauna, aus welcher vor allem Gastropoden (Taf. 4, Fig. 7), Bivalvenbruchstücke, Bruchwerk einiger (aber eher seltener) Brachiopoden, Bruchstücke von Röhrcchen und Spiralen von vom Untergrund abgetrennten Serpuliden sowie, in der lutitischen Matrix, auch spiculae (Taf. 4, Fig. 6) hervorzuheben sind. Vereinzelt große Ostracoden, Filamente sowie Foraminiferen (nahezu ausschließlich mit den Formen der abgebildeten *Involutina liassica* und *I. turgida* vertreten) seien dieser Aufzählung hinzugefügt.

In nur wenigen Schriffen tauchen zudem einige wenige gut erhaltene, etwas größere Ammonitenconche auf. Aufgrund ihrer in den vorliegenden Größen von bestenfalls wenigen Zentimetern bereits zahlreichen flach ovalen, glatten, wenig umfassenden Windungen und somit flach weitnabliigen Windungsquerschnitte könnten sie möglicherweise den Psiloceraten (cf. *planorbis*) zugehören. Die Richtigkeit der Zuordnung vorausgesetzt, ließe dies, zusammen mit den fast in allen Schriffen, aber nur vereinzelt auftretenden *Involutina liassica* und *I. turgida*, auf tiefliassisches Alter dieses Hierlatzkalkes schließen (Taf. 4, Fig. 1, 2, 3, 4).

Mit den beschriebenen mikrofaziellen Merkmalen, denen noch der auf die Abbildungen Taf. 4, Fig. 1 und Taf. 4, Fig. 2 gestützte Hinweis auf die gerade bei größeren Fossilien manchmal so schön erhaltenen Oben-unten-Gefüge mit nicht zementierten, bisweilen etwas feinkritisch unterlegten Unterseiten und mit den dick blockig bis fibrös zementierten Oberseiten mit abgetragenen Ornamentierungen (Taf. 3, Fig. 7) und beschädigter Schale, ferner der Hinweis auf verstärkte Bohraktivitäten, ersichtlich aus den zahlreichen zerbohrten Bioklasten, angeschlossen sei (Taf. 4, Fig. 5), kann das Ablagerungsmilieu des Hierlatzkalkes zweifelsfrei als ruhiges, wenig turbulentes, flaches Bewegungswassermilieu angesprochen werden (Taf. 3, Fig. 8).

Die Anfänge einer in den jüngeren Abfolgeanteilen rasch zunehmenden stratigraphischen Kondensation dürften wohl schon hier zu suchen sein. In der Schwarzenseeabfolge kommen sodann auch die oben bereits erwähnte Änderung der Sedimentationsverhältnisse und der Umschwung der Sedimentation klar hervor. Nach oben wird der Hierlatzkalk, dem Sedimentationsumschwung entsprechend, sehr deutlich abgelöst. Die Dichte der bislang so kennzeichnenden Echinodermen geht schnell zurück und schließlich verschwinden sie mitsamt Foraminiferen, Ammoniten, Gastropoden etc. ganz.

Es folgt ein primär heller, gelblich-grauer und lichtockerfarbener bis schwach rötlicher, in Partien mit undeutlicher Knollenbildung, die übrigens fast durchwegs Bereichen entsprechen, in denen das Sediment in Bewegung geraten ist (Taf. 5, Fig. 5 und stratigraphisches Profil = Taf. 1), lachs- bis kräftig ziegelroter feiner Biomikrit. Ihn zeichnet zunächst ein stets unterschiedlicher Gehalt an Schwammnadeln aus, wengleich der nie Spikulitdichte erreicht (Taf. 5, Fig. 1). Dieses Gestein sei folglich als Roter spikulitischer Kalklutit bezeichnet und als solcher in die gegenständliche Beschreibung eingeführt (C). Färbungsmechanismen und sonstige nähere Ausführungen folgen in Kapitel 5.3.

Zu seinen wesentlichen Merkmalen zählen ferner Auftreten und (?) scheinbares mengenmäßiges Ansteigen (eher eine kondensationsbedingte Verdichtung) eines Biogen-

feindetritus. Anzunehmen ist, dass es sich dabei um feinsten Erosions- bzw. Abrasionsschutt handelt, der ab hier Hauptbestandteil der nach oben zunehmend kondensierten Sedimentation zu werden scheint. Auch die Feinheit dieses Detritus steigert sich durch Abnahme der Korngrößen nach oben hin.

Der Hierlitzkalk stellt, wahrscheinlich noch vor dem Rhätolias-Riffkalk, den Hauptanteil der Brekzie. Er ist vornehmlich noch plastisch, aber eindeutig auch mit im Festzustand zerlegten Anteilen in der Brekzie vertreten (Taf. 3, Fig. 4). Die Funktion der Crinoidensande des Hierlitzkalkes als Füllung früher Aufbrüche, eingeschränkt sogar als Komponentenmatrix, wurde bereits oben erwähnt.

Schmale und nur mäßig breite Spalten im Rhätolias-Riffkalk haben wiederholte Wechsel von dünneren und dickeren pelmikritischen und pelsparitischen Feinlagen („Zeilen“) sehr schön konserviert, die Einschwemmungen aus dem Hierlitzkalk sind (Taf. 2, Fig. 2).

Der Hierlitzkalk verleiht der Brekzie den ihr eigenen, wechselnd angeröteten, hellen und rötlich-weißen Grundton.

### 5.3. Roter spikulitischer Kalklutit, C

[strat. Profil: (4) ZM]

Im Hangenden des Hierlitzkalkes folgt also, dem Sedimentationsumschwung entsprechend sehr deutlich und scharf abgegrenzt, der im vorhergehenden Kapitel vorweg angesprochene rote Kalklutit, ein durchwegs, aber abwechselnd lockerer und dichter Schwammnadeln sowie Biogenfeindetritus führender Kalk; mikrofaziell ein spikulitischer, detritischer Biomikrit.

In den Zusammenhängen bereits eingeführt, seien hier seine Charakteristika vervollständigt.

Er ist eine primär in hellen, gelblichen Grau- und Ockertönen gefärbte, sehr feinkörnige Ablagerung. Die nach oben stetig zunehmende Kondensation und die Einbeziehung in frühe Sedimentbewegungen (Gleitungen in frühdiagenetisch unverfestigten Stadien) schaffen in ihm Rottönungen in zahllosen Nuancen, hin bis zum Lachs- und Ziegelrot. In Bereichen mit besonders satten, kräftigen Rottönungen zeigt dieser Abfolgeabschnitt fast immer ein Knollengefüge, und zwar lokal gehäufte, nur undeutlich voneinander abgegrenzte Knollen. Sie sind dichtere, intensiver gefärbte kleine und größere, rundliche Körper, die ein eigenes, enges Gefüge erzeugen und für welche Vorgänge wie die bei FLÜGEL (1978) angeführten „lokalen Gleitungen des gering verfestigten Sedimentes“ als verursachend anzusehen sind. Häufig sind breitere Zwickel im Knollengefüge typischerweise netzartig feinsparitisch aufgelockert.

Tektonisch verursacht, kommt es zu geringen (siehe oben bei „Rottönungen“!) und größeren Bewegungen im noch nicht lithifizierten Sediment, und kleine Rutschungen, Sackungen, ein „Zergleiten“, oder wie sonst man diese Bewegungen bezeichnen will, können zur Bildung eines farblich unterschiedlichen, meist intensiver roten, im gegenständlichen Fall noch undeutlich, diffus abgegrenzten knolligen Gefüges führen, das mit Sicherheit ein Bewegungsgefüge ist. Es versteht sich, mit solchen Partien in Abfolgeglied C eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Adneter Kalk zu assoziieren (Taf. 5, Fig. 5).

In anderem Zusammenhang vorweggenommen, hier erinnerungsweise als eines der Charakteristika der Gesamtfolge hinzugefügt sei, dass die (u. a. auch im Profil festgehaltenen) den höheren Anteilen des Hierlitzkalkes oft diskordant sedimentär zwischengeschalteten dünnen, spikulitischen, feindetritischen Lagen als Einleitung von Umschwung und neuen Sedimentationsverhält-

nissen bereits diesem Abschnitt C zuzuordnen sind und die gleichen tektonischen Ursachen haben.

Dass das Gestein, wechselnd dicht, dabei aber weit entfernt von Spikulitdichte, allerdings zum Großteil kalzitisch rekristallisierte Kieselschwammnadeln führt, lässt jedenfalls bei dichter gepackten Partien an Liasspongienkalke (Kirchsteinkalk) denken (Taf. 5, Fig. 2).

Des weiteren festgestellt und bereits angesprochen wurde der teilweise hohe Anteil an Biogenfeindetritus, oft ganz lokal oder auch lagig angereichert, der mengenmäßig zunehmen und dessen Feinheitsgrad sich nach oben hin durch weitere Abnahme der Korngrößen noch zu steigern scheint.

Der besprochenen Knolligkeit und den Sedimentbewegungen als deren Ursache sei noch die Beobachtung hinzugefügt, dass gerade Sedimentanteile mit angereichertem Biogenfeindetritus leicht in ein knollig-rundes Gefüge zu zergleiten scheinen. Ein knollig-rundes Nebeneinander unterschiedlich dicht und unterschiedlich fein gepackter Partien ist ein häufig wiederkehrender Anblick (Taf. 5, Fig. 3, 4).

Die partien- und abschnittsweise Verdichtung dieses nach oben zunehmend kornverkleinerten Biogenfeindetritus ist zum guten Teil einer bis zum Abfolgeabschluss, D, stetig zunehmenden stratigraphischen Kondensation zuzuschreiben.

Mit den Verdichtungen und Anreicherungen des Feindetritus scheint im übrigen oft eine verstärkte Rotpigmentierung solcher Bereiche in Form von schwachen und stärkeren Pigmentsäumen und -suturen, allesamt kaum oder gar nicht stylolithisiert, verbunden zu sein (Taf. 5, Fig. 6). Da sie sich auch im näheren Umfeld (Taf. 5, Fig. 6 u. 7) fortsetzen, können auch solche Gefüge wohl der Kondensation und den tektonisch verursachten Sedimentbewegungen zugeschrieben werden. Letztere könnten möglicherweise an derartigen Inhomogenitäten leichter in Gang kommen.

Es treten in diesem Gesteinstyp oft kreisförmige, scharf begrenzte ockerfarbene Höfe im roten Sediment auf. Es dürfte sich dabei um ein Farbumschlag im Nahbereich sich halmyrolysebedingt zersetzender (verwitternder) Pyrite handeln (Taf. 8, Fig. 2).

Die Brekzie führt dieses feine glatte Gestein, stellenweise noch deutlich erkennbar, als sedimentär Hangendes des Hierlitzkalkes; wie erwähnt, in zahllosen Nuancen angerötet dort, wo es noch unverfestigt in frühe synsedimentäre Bewegungsabläufe einbezogen wurde; als kleine Intraklasten, aber auch als kleine plastische oder harte Brekzienkomponenten vorwiegend im jüngsten Abschnitt und offenbar durchgehend auch als größere und große eckige Komponenten. Schließlich und nicht zuletzt als mobile, unverfestigte, echte Komponentenmatrix ebenso wie als mobilen Spalten- und Hohlraumfüller.

### 5.4. Dunkelroter bis schwarzer, Fe-Mn-gefärbter Kalklutit, D

[strat. Profil: (5) KFe-Mn]

Das jüngste Glied der Sedimente des Schwarzenssees folgt sedimentär auf das ältere, C, misst in ungestörten Anteilen etwa 15 bis 20 cm und verleitet beim ersten Augenschein im Steinbruch dazu, es als abschließende dicke Kruste anzusprechen. Eigentlich stellt es nichts anderes als die hochkondensierte, auch biodetritisch verdichtete, Fe-Mn-oxidisch eingefärbte und mit neuerlichem Sedimentationsausfall abschließende Fortsetzung von C dar. Ausdruck fortgesetzter tektonischer Aktivität (mit Sedimentationsumschwung und Änderung der Sedimentationsverhältnisse als Folge), entwickelt es sich aus Schichtglied C und könnte – im Sedimentationsverlauf, seinen Ursa-

chen sowie lithologisch und zeitlich eng damit verbunden – mit C zusammengefasst werden. Wo es ungestört mit dem älteren Abschnitt, C, verbunden ist, finden sich aber einige deutliche Hinweise auf eine größere Schichtlücke zwischen beiden. Solche Hinweise haben sich da und dort bruchstückhaft etwa mit einer wellig unebenen (?Hartgrund-)Oberfläche erhalten, auf der kleine rotpigmentgesäumte, möglicherweise als Subsolutionsrelikte aufzufassende Reste Unebenheiten der Oberfläche des älteren Schichtgliedes ausfüllen (Taf. 6, Fig. 1).

Es wird aus diesem Grund wie auch seiner ganz eigenen lithologischen Merkmale wegen, in denen sich potenziert findet, was sich über dem Hierlatzkalk anbahnte, als Dunkelroter bis schwarzer, Fe-Mn-gefärbter Kalklutit in dieser Abhandlung geführt und als eigenes Abfolgeglied besprochen (D). Dieser Abschnitt ist wohl der komplexest zusammengesetzte und am schwierigsten zu beurteilende der Sedimentfolge des Schwarzen-Seeemarmors. Er entwickelt sich, farblich und strukturmäßig schon ab der Basis recht auffallend verändert, über der Schichtlücke außerordentlich charakteristisch (Taf. 8, Fig. 5). Zunächst wechselt sein tiefster Abschnitt von der ziegelroten Farbe von C in dunklere, braune Farbtöne. In eine an der Basis sehr dichte, ja geradezu verbackene Feinstfraktion des in C noch mikritisch gebundenen Biogendetritus migrieren konzentrierte, hell- und dunkelrote Fe-oxidische Lösungen ein, füllen die verbliebene Interpartikelporosität und kleine Resthohlräume und -zwickel und schaffen eine breite Palette von Rottönungen und -intensitäten in der Feinstruktur des Sedimentes. Es zeigen sich in kurzen Abständen diskontinuierliche Fortsetzungen der hoch kondensierten Ablagerung. Diese kennzeichnen aufeinanderfolgende schwächer färbige, schmal sparitisch unterlegte, zeilenartig durchlaufende oder auch abgebrochene oder an runden Suturen abgerutschte oder einfach versetzte Oberflächen. Hervorrufen dürfte dies das Zusammenwirken von Sedimentationsunterbrechungen, Kondensation und häufig vorkommenden, tektonisch verursachten Bewegungen im Sediment (im Dünnschliff Taf. 6, Fig. 1, im Auflicht Taf. 8, Fig. 5).

Der Anblick erweckt zunächst den Eindruck in Abständen wiederholter, gekräuselter Laminierungen, doch hat sich gezeigt, dass gerade biogen verursachte Laminierungen mikrostromatolithenähnlicher Ausbildung hier, wenn überhaupt, so nur in äußerst bescheidenen Ansätzen vorkommen.

Im gesamten jüngsten Abfolgeabschnitt ist zwar, wie von zahlreichen anderen Beispielen Fe-Mn-oxidisch beeinflusster Sedimente hinlänglich bekannt, jene gewisse, wiederholte Unten-oben-Folge roter, Fe-oxidisch dominierter und dann dunkelvioletter bis schwarzer, Mn-oxidisch dominierter Sedimenteinfärbungen beobachtbar, doch scheint uns der Hinweis darauf am interessantesten, dass dem gesamten Abschnitt trotz durchgehender Beteiligung konzentrierter Fe-Mn-oxidischer Lösungen jegliche Krustenbildung fehlt.

Der aufgrund der beschriebenen diskontinuierlichen Restsedimentation in Zentimeterabständen alternierende, um die 10 cm mächtige, kaffeebraune bzw. dunkelbraune und violette Basalabschnitt geht schließlich in den oberen Abschnitt über. Freien Auges betrachtet, wechselt er farblich aus einem Dunkelbraun in ein Violett und Schwarz und zeigt im Auflicht dunkle, braun- bis schwarzgraue, wolkige Fe-Mn-Auftriebe. Der sparitisch gebundene Biogendetritus ist zusehends verdichtet, kann aber auch noch ganz locker verteilt sein. An manchen Stellen fehlt er nach oben hin, und bäumchenartige schwarze, an das Mikroproblematikum *Frutexites* (BÖHM & BRACHERT, 1993) erinnernde Fe-Mn-Auftriebe können auftreten und wachsen in eine glasige sparitische Matrix hinein (Taf. 8, Fig. 5).

Dieses Mikroproblematikum wie auch die „cauliflower structures“ (FLÜGEL, 1978: Im Sediment migrierende kolloidale Fe-Mn-Lösungen), die uns aus ähnlichen, von Kondensation, Mangelsedimentation und Sedimentationsausfällen geprägten Bildungen in allen möglichen Varietäten bekannt sind, sind in den Dünnschliffen der Schwarzen-Seeer Sedimentfolge auffallend selten und zur Bildung von Krusten scheint es überhaupt nicht gekommen zu sein (Taf. 6, Fig. 4). Wolkige Auftriebe oder eine homogene Einfärbung in verschiedenen Rotintensitäten ist hingegen gewöhnlich.

Das jüngste Abfolgeglied, D – hochkondensiert und von den beschriebenen Diskontinuitäten verschiedener Genese geprägt (Sedimentationsausfälle, längere Sedimentationsunterbrechungen, tektonische Ursachen etc.) –, steuert auf einen längeren, gänzlichen Ausfall der Sedimentation an der Obergrenze zu. Der Abschluss gestaltet sich sehr eigenwillig und ist mit keiner von den uns bekannten Hartgrundoberflächen gut vergleichbar (s. etwa bei WENDT, 1970; FLÜGEL, 2004). Der zuvor kondensationsbedingt dicht gepackte, rekristallisierte, sparitisch gebundene und Fe-Mn-infiltrierte Biogendetritus, in welchem übrigens auch nur irgendwie ansprechbare oder gar bestimmbare Biogene, spiculae ausgenommen, nicht zu finden sind, fällt gänzlich aus, und zwar noch vor dem Top.

Der dünne, glasig sparitische Abschluss führt nahezu ausschließlich jene konzentrierten, synsedimentär mobilten, offensichtlich nie krustenbildenden Fe-Mn-oxidischen Lösungen wolkig verteilt, viel seltener hingegen als pilzartige oder bäumchenartige Auftriebe („cauliflower structures“, *Frutexites*).

Eine chemische Analyse (Pr. 3) aus dem Abschnitt zeigt stark erhöhte Fe- und Mn-, aber geringe SiO<sub>2</sub>-Werte (2 %) und ein auffälliges Spurenspektrum (vgl. Kap. 7 und Tabelle 1). Der Kalziumkarbonatanteil fällt, gegenüber den anderen Proben, auf nahezu 90 % ab.

Vielleicht sind derart eigenständige Sedimentationsabbrüche oder „ausklänge“ einer gänzlichen Einfaltung, einem „Wegschließen“ der Abfolge in den letzten Phasen verstärkter tektonischer Aktivität zuzuschreiben, was jegliche weitere Zugänglichkeit für nachfolgende Sedimentation verhindert haben mag. Wir haben keine Hangendfortsetzung irgendeiner Art gefunden.

Gleiches, übrigens, wie dieser Abschluss kann als dünne, seitlich schnell wieder unterbrochene, nur millimeter-schmale „Einleitung“ von Abschnitt D, also über der Schichtlücke zwischen Abschnitt C und D, vorkommen. Vielleicht könnte man sagen, diese Bildung repräsentiere zumindest teilweise die Schichtlücke. Diese Bildung ist, wenngleich viel dünner und schwächtiger, in ganz ähnlicher Weise wie der Sedimentationsausfall am Top gestaltet (Taf. 5, Fig. 8), und trotz ihrer Schwächtigkeit liegen farbige Fe-Mn-Lösungen, genauso wie vom Top geschildert, auch hier als jene bunten, wolkigen, oft auch pilzähnlichen Auftriebe im Sediment vor.

Hingewiesen sei noch auf die Verschiedenartigkeit der Einfärbungen, je nach Beschaffenheit der färbenden Substanz und des gefärbten Sedimentes. Wenn etwa unverfestigte (Intra-)Klasten aus dem dunklen Abfolgeabschluss in noch weiche, helle Feindetrituslagen umgelagert werden, färben solche das hellere Sediment oft in schmalen oder breiten Säumen oder auch fleckig leuchtend rot ein.

Mikritische Matrix übrigens hat am dunklen Abschluss der Sedimentfolge anscheinend so gut wie keinen Anteil mehr. Bestenfalls könnten weit verstreute dünne, schlierige Einträge in kleine, synsedimentär angelegte Hohlräume als minimale mikritische Reste im Sediment aufgefasst werden.

Der jüngste Abfolgeabschnitt, D, ist aufgrund seiner Farbe wie auch aufgrund der Tatsache, dass er weit überwiegend (frühdiagenetisch) weich, jedenfalls aber gering

verfestigt bis plastisch in die Brekzierung einbezogen wurde und daher sowohl als Füllung von Spalten und Hohlräumen wie auch als abgerissene, verbogene oder vielfach gestauchte plastische (noch verformbare) Komponenten in verschiedenartigen Kontakten mit anderen Komponenten auftreten kann, trotz seiner geringen Mächtigkeit ein ebenso auffallendes wie belebendes Element der Brekzie.

Auf den Steinbruchwänden sind Abschnitte zutage gekommen, die C und D, in der Hauptbrekziierungsphase in Bewegung geraten, abbilden (wie etwa auf dem Beibild zur Profilzeichnung festgehalten, Taf. 1 oder Ausschnitt Taf. 9, Fig. 3). Solche erweisen, dass der liegende ziegelrote Abschnitt, C, und der Abfolgeabschluss, D, beide noch (Letzterer nahezu nur) weich, zumindest aber gut plastisch verformbar in die Hauptbrekziierungsphase einbezogen worden sind. Auf im Zuge der Zerlegung der Abfolge entstandenen Gleitbahnen oder etwa an Versätzen mobilisiert (Taf. 6, Fig. 2), sind sie schräg abgeglitten oder aber durchbewegt, verschoben und „vermischt“ worden (siehe u. a. das eingangs abgebildete Profil und Tafel 7, Fig. 1). Dabei kann sich, etwas wellig verbogen oder weich gezerrt, da und dort noch der ursprüngliche obere Abfolgeabschnitt erhalten.

Erwähnt sei abschließend noch, dass sich, gebunden vor allem an Versätze in den oben beschriebenen wiederholten Sedimentdiskontinuitäten, mitten im Abschnitt D kleine noch weiche Intraklasten und kleine und größere, eckige, oft längs dünner, älterer Spältchen abgebrochene, rot pigmentgesäumte Brekzienkomponenten, beide aus dem älteren Abschnitt, C, stammend, im Abschnitt D finden. So, wie sie auftreten, können sie wohl nur an Brüchen oder Versätzen abgerissen, abtransportiert und im Abschnitt D resedimentiert worden sein (Taf. 6, Fig. 2, 3).

Hervorgehoben wird dies, weil zumindest ab dem Lias verstärkte tektonische Einflüsse zu Umbau und laufender synsedimentärer Zerlegung der Abfolge und damit auch zur Änderung der Sedimentationsverhältnisse geführt haben.

An den Steinbruchwänden sind zudem durchgehende, teils unebene, mehrfach aufgeteilte und von randlichen Mylonitspänen begleitete, teils ebenflächige, von ganz glatten Harnischflächen begrenzte Störungen zutage gekommen (Taf. 7, Fig. 2). Postsedimentär angelegt, stehen sie sicher mit der aus unseren Proben und Dünnschliffen hervorgegangenen Sprödzerbrechung der bereits konsolidierten Brekzie im Zusammenhang, könnten darüber hinaus aber noch jüngere Störungen sein.

## **6. Brekziierungsphasen im „Schwarzenseemarmor“ – zeitliche Eingrenzung**

Versuch einer zeitlichen Eingrenzung der Brekziierungsphasen anhand der ermittelten Unverfestigt-Plastisch-Sprödbeteiligung der Sedimente. Eingrenzung erfolgte nach Ermittlung der Diagenesestadien und -fortschritte der beteiligten Sedimente (Lithifizierungsgrade, Verformbarkeit im Brekziierungsablauf).

### **6.1. Unterscheidbare Diagenesefortschritte der beteiligten Sedimente**

Der älteste Brekzienanteil, der Rhätolias-Riffkalk, ist mit sehr großen wie auch kleinen, durchwegs eckig-kantigen Komponenten in der Brekzie vertreten und weitgehend verfestigt, lithifiziert (spröd) in die Brekziierungsabläufe einbezogen worden. Ein System kleiner schmaler, früher Spalten und Brüche findet sich darin angelegt. Viele Spalten tragen vom ersten Aufgehen her eine dicke Tapete aus

„Palisaden“-Zement auf den Wänden. Sie scheinen zunächst ungefüllt erweitert worden zu sein. Später sind sie mit blässelhaftem, pelmikritisch-pelsparitischem Hierlatzkalk gefüllt worden, und zwar in zahllosen Wiederholungen, die aus kontinuierlichen Einschwemmungen aus dem Hierlatzkalk zu beziehen sind. Derartige unterstreicht das ruhige, sedimentationsarme Bewegtwassermilieu dieses Hierlatzkalkes zusätzlich. Bemerkenswert, dass im Gefüge dieser Füllungen bereits erste Bewegungen und Verschiebungen im Untergrund festgehalten sind: Neben besagter Spaltenerweiterung setzen auch die Füllungsabschnitte häufig diskordant voneinander ab. Daraus ersichtliche Änderungen der Spaltenneigung und neue Spaltenbrüche (Taf. 2, Fig. 2) sind deutliche Hinweise auf solche Bewegungen im Untergrund. Alles dies muss der Rhätolias-Riffkalk bereits weitgehend verfestigt erfahren haben. Von der „Hauptbrekziierungsphase“ (siehe unten!) konnte er deshalb nur mehr fest (spröd) zerlegt werden und ist daher auch nur mit eckig-kantigen Komponenten in der Brekzie vertreten.

Wir glauben schon deshalb die eigentliche Hauptphase der Brekzierung in den Lias verlegen zu können, und zwar mit an das Ende der Hierlatzkalkablagerung zu setzendem Schwerpunkt. Gemessen wird dies an der Folge Rhätolias-Riffkalk – Hierlatzkalk einerseits und an den mit eklatantem Umschwung und umfassender Änderung der Sedimentationsverhältnisse darauf folgenden jüngeren Abfolgegliedern, C und D, andererseits. Gründe sind somit die ausschließliche Sprödbeteiligung des Rhätolias-Riffkalkes, das trotz erster Anzeichen der Veränderung lange erhalten gebliebene Hierlatzkalkmilieu und die Einbindung eines noch gering verfestigten Hierlatzkalkes sowie der von den jüngeren Ablagerungen darüber angezeigte eklatante Umschwung und die Diagenesestadien, in denen sie, in die Brekzie eingebunden, vorliegen (z. B. teilweise sogar noch Funktion als Matrix).

Der Hierlatzkalk liegt im Schwarzenseemarmor (abgesehen von einer Spätphase reiner Sprödzerbrechung, von der die ganze Abfolge betroffen wurde) teilweise ausgehärtet (fest), mit kleinen und großen eckig-kantigen Komponenten, teilweise und überwiegend aber plastisch brekziiert vor, mit (ehedem) noch verformbaren, leicht gerundeten Komponenten. Partien in den Steinbruchwänden bestätigen zudem eine Einbindung nur gering verfestigter Anteile des Hierlatzkalkes. Gravitativ-mechanisch zwischen solchen plastischen Komponenten während der Hauptbrekziierungsphase neu aufgegangene Hohlräume mit dicken, dünn rot pigmentunterlegten, palisadenzementartigen Auskleidungen in mehreren Generationen bestätigen dies (Taf. 8, Fig. 1). An Crinoidensande als Spalten- und Zwickelfüller im Hierlatzkalk (eingeschränkt sogar als Komponentenmatrix) sei hier erinnert.

Im Brekziengefüge findet man Schichtglied C mit noch unverfestigt-mobilen (Taf. 9, Fig. 3), plastischen (= unterschiedlich verformbaren) und ebenso mit ausgehärteten, eckig zerbrochenen Anteilen vertreten. Ausgenommen eine weich-mobile Beteiligung von C als Komponentenmatrix sowie eine noch hohe plastische Verformbarkeit, ist dieses feine Material (nicht zuletzt wegen seiner kondensations- und lösungsbedingten dicken Pigmentsäume) hinsichtlich seiner Diagenesefortschritte in der Brekzie schwer zu beurteilen. Wesentlich erscheint uns bei Abschnitt C und D die häufige Matrixfunktion. Nicht selten sind kleine (Intra-)Klasten und Komponenten aus C, die über Bewegungen (Verschiebungen, Versätze und dgl.) in den häufig noch hoch weich-mobilen Abschnitt D gelangt sind. Erinnert sei an jene Bereiche in der Brekzie, in denen dieses feine Sediment ganz unterschiedlich in zahllosen Übergängen aus hellem Ocker in vielfältigste Rotnuancen übergeht und damit jenes synsedimentär angelegte Gefüge aufweist, das in noch hochmobilen Unverfestigtstadien

durch Sedimentbewegungen zustande kommt („Zergleiten“, siehe dort!).

Schichtglied D, eigentlich die über der Schichtlücke folgende, zunehmend kondensierte Fortsetzung von Abschnitt C, wurde anscheinend weit überwiegend gering verfestigt, ja sogar mobil, jedenfalls aber noch leicht verformbar (plastisch) in die Brekzie eingebunden. Wandabschnitte des Steinbruches, auf denen C und D, noch annähernd ursprünglich zusammenhängend, in Bewegung gerieten, veranschaulichen, wie gut verformbar eigentlich beide Glieder, speziell aber D in der Hauptbrekziierungsphase noch waren (Taf. 8, Fig. 5). Unverfestigt mobil kann Abschnitt D, seiner geringen Mächtigkeit wegen allerdings in entsprechend beschränktem Ausmaß, als Brekzienmatrix fungieren. Noch plastisch, kann er ebenso zwischen bewegten größeren Brekzienkörpern zusammengepresst und durchbewegt worden sein. Kennzeichnend ist dies am Gefüge, das sich aus zahllosen kleineren und kleinen, eckigen Komponenten (auch solchen aus D selbst) und feinem Zerreibsel aus Kalzitkristallen und Sediment zusammensetzt, alles zusammen völlig ungeordnet in die plastische Matrix eingeknetet, die aufgrund ihres Inhaltes auch eine etwas weniger kräftige Farbe annimmt (Taf. 9, Fig. 1). Als weiteres Beispiel für die während der Hauptbrekziierungsphase des Schwarzenseeemarmors festgestellten Diagenesefortschritte von D seien noch schmale, der Längsachse nach verschobene Aufbrüche in hartem Material angeführt, in denen plastischer D auseinandergezogen und, mit kleinen Komponenten aus dem harten Material besetzt, nahtlos in den eckig-kantig begrenzten Aufbruch einbezogen worden ist (Taf. 8, Fig. 4).

Der Beteiligung in weich-mobilem Stadium als Matrix und Füller seien noch Beispiele abgerissener, plastisch auseinandergezogener oder gestauchter Teile von D hinzugefügt, die vor allem am Top der Abfolge als dunkle Bruchstücke auftreten können.

## 6.2. Zeitliche Eingrenzung der Brekziierungsphasen des Schwarzenseeemarmors

Der Schwarzenseeemarmor ist eine Brekzie mit hohem Zerlegungs- bzw. Zertrümmerungsgrad und mit vollständiger Durchmischung der ursprünglichen Sedimentabfolge. Es ist deshalb anzunehmen, dass die tektonischen Einwirkungen, die dazu geführt haben, nicht auf bruchtektonische Vorgänge beschränkt blieben, sondern mit Sicherheit Einengung und Faltung einschließen, und zwar in syn- bis postsedimentärem Zeitrahmen. Dies bedeutet, dass ihre Auswirkungen die Schwarzenseeer Sedimente, jedenfalls den jurassischen Anteil, wie festgestellt, nicht nur bereits frühdiagenetisch betroffen, sondern Sedimentationsumschwung und Änderung der Sedimentationsverhältnisse, wie ermittelt, auch verursacht haben. Sedimentfolge und Schwarzenseeemarmor selbst sind für beides beispielhaft.

Als Beispiel für das Zerlegungsmaß des Schwarzenseeemarmors sei jenes Gefüge angesprochen, in dem ein deutlich gering verfestigt-mobiler, einigermaßen intakter Verband von C und abschließendem D schräg abrutscht und, an einem als Widerlager fungierenden Versatz abgefangen, wieder von einer dicken rotkalkgebundenen weiteren Brekzienabfolge mit mächtigen Komponenten überlagert wird. Komponenten, Zwickel und Spalten sind in diesem Bereich teilweise von mobil eingedrungenem C und D gebunden bzw. ausgefüllt (Taf. 9, Fig. 3).

Die zur Schwarzenseeer Sedimentabfolge und Brekzie ermittelten Umstände lassen eine ungefähre zeitliche Eingrenzung der Brekziierung zu. Wir trennen eine synsedimentäre „Hauptbrekziierungsphase“ von einer späten, postsedimentären „Sprödphase“ und definieren „Haupt-

brekziierungsphase“ als die im unteren Lias erfolgte synsedimentäre Zerlegung (teilweise Zerbrechung) der Schwarzenseeer Sedimente. Der Schwerpunkt dieser Phase dürfte in die Zeit nach Ablagerung des Hierlatzkalkes zu liegen kommen. „Sprödphase“ nennen wir die postsedimentäre reine Zerbrechungsphase aller beteiligten Sedimente.

## 6.3. Begründungen

Hinweise darauf, dass der Rhätolias-Riffkalk in die Zerlegungs- bzw. Zerbrechungsmechanik, denen der Liasanteil der Sedimente ausgesetzt war, anders als voll verfestigt einbezogen worden ist, fehlen. Von der Hauptbrekziierungsphase konnte er nur mehr im Feststadium erfasst werden. Spaltensystem, Mehrfacherweiterungen, Verstellungen sind vergleichsweise geringe bruchtektonische Einflüsse, die während der Ablagerung des Hierlatzkalkes, der biostratigraphisch in den unteren Lias (Hettangien) zu stellen ist, wenig Änderungen erfahren. Die Hierlatzspaltenfüllungen (selbst der kleinsten Aufbrüche), auch wenn sie weitere geringe Bewegungen anzeigen, erweisen dies sehr nachdrücklich. Verbindliche biostratigraphische Hinweise stehen uns nur im Hierlatzkalk zur Verfügung und enden mit dieser Ablagerung (Hettangien). Der Umschwung der Sedimentation erfolgt hart, unmittelbar und ohne jegliche Übergänge (abgesehen von neuerlichen kurzen Ankündigungen: zahlreiche diskordante Wechsel zwischen Hierlatzkalk und C). Der Beginn der synsedimentären Zerlegungs- und Zerbrechungsvorgänge im Ausmaß der Hauptbrekziierungsphase ist deshalb jenseits der Ablagerung des Hierlatzkalkes zu suchen, dürfte aber gleichfalls noch in den unteren Lias zu verlegen sein. Als Hinweise dafür könnten die spikulitischen Anteile in der neuen feinen Rotsedimentation, wie sie vom Hierlatzkalk her bereits bekannt sind, der unvermittelte, rasche Umschlag der Sedimentation mit rasantem Sedimentationsabbruch ohne Folgeablagerung, Biogene und dgl. dienen. Es gibt weder biostratigraphische noch sedimentologische Anhalte für einen zu erweiternden Zeitrahmen.

Den Rhätolias-Riffkalk trennen von der Hauptbrekziierungsphase mit der zeitlichen Entfernung auch eine viel geringere syn- und auch noch postsedimentäre tektonische Beanspruchung und seine ausschließliche Sprödeinbindung in die Brekzie (als verfestigte Ablagerung). Der Hierlatzkalk ist, gemessen an den Folgesedimenten, normalmarine Flachwasserablagerung, allerdings mit bereits angekündigter Sedimentationsumstellung. Zwischen ihm und der restlichen Rotsedimentabfolge liegt eine scharfe Trennlinie, die einer radikalen Sedimentationsumstellung und einem Umschwung in völlig geänderte Sedimentationsverhältnisse, verursacht von wesentlich komplexeren tektonischen Aktivitäten, gleichkommt. Zudem hat die Hauptbrekziierungsphase den Hierlatzkalk als noch nicht völlig verfestigtes Gestein betroffen. Vom Hierlatzkalk aufwärts in die jüngeren Sedimentabschnitte nimmt der Diagenesefortschritt ab, teilweise bis zu noch fehlender Lithifizierung (was mit den Termini „gering verfestigt-mobil“ und dgl. umschrieben wird).

Im chaotischen Brekziengefüge noch ermittelbare, derart verschiedenartige, nach oben stetig verringerte, teils bis nahezu im Unverfestigtstadium verharrende Diagenesefortschritte des jurassischen Sedimentabschnittes haben möglich gemacht, die Hauptbrekziierungsphase abzugrenzen. Sie ist aus den angegebenen und ausgeführten Gründen im unteren Lias (Hettangien) anzusetzen, mit Schwerpunkt jenseits der Ablagerung des Hierlatzkalkes. Untergrenze muss faktisch die Grenzlinie Hierlatzkalk – jüngere Rotsedimente darstellen; Obergrenze ist der letzte gravierende Sedimentationsausfall auf D, der hier vermutlich

sogar einer tektonisch verursachten totalen Versiegelung der Sedimentabfolge gleichkommt.

Vor allem in den Dünnschliffen hervorgekommen ist, was von uns als Sprödphase bezeichnet wird (Taf. 4, Fig. 7): Erweiterungen irgendeines alten Bruchmusters (Spalten, Brüche, Verschiebungen und dgl.), immer gekennzeichnet durch in neuem erweitertem Rahmen hinzugekommene kleine, zu scharfkantigen Komponenten zerbrochene Sedimentpartikel, kleine Bruchstücke älterer Spaltenkalzite, scharfkantige Bruchstücke von Biogenen etc. Wahrscheinlich ist dies zumindest teilweise in Zusammenhang zu bringen mit den oben erwähnten größeren, jüngeren Störungen, die die bereits konsolidierte Brekzie durchsetzen.

## 7. Chemische Untersuchung

Das untersuchte Gestein stellt eine polymikte und unsortierte Sedimentärbrekzie mit einer im Aufschluss nur vage erkennbaren Abfolge dar. Um seine chemische Zusammensetzung zu untersuchen, wurden mehrere Proben genommen. Zum einen eine Probe, die einen größeren Mischbereich aus der Brekzie repräsentiert, und des Weiteren Handstückproben von einzelnen, an der Brekzie beteiligten Sedimenten.

Zwecks Schonung der glatten Wände des Steinbruches stammen die Proben aus als Abfall vermuteten Randbereichen von Blöcken und von losem Material. Die ehemalige

Position der abgesägten Blöcke wurde in den Steinbruchwänden ermittelt und auf diese Weise die größte Probe innerhalb der Abfolge platziert (Taf. 7, Fig. 1).

1 bis 3 sind Handstücke, wobei Probe 1 dem Roten spikulitischen Kalklutit, C, Probe 2 dem Rhätolias-Riffkalk und Probe 3 dem Dunkelroten bis schwarzen, Fe-Mn-gefärbten Kalklutit, D, entspricht. Probe 4 kann als repräsentativ für den hangenderen Teil der an den Wänden sichtbaren Brekzie gelten (siehe Taf. 7, Fig. 1) und zwar für den Typ, der als Dekorstein aufgrund seiner Farbe und Ornamentik begehrt ist. Eine schon aus einem Großblock geschnittene Platte, ca. 60 x 40 x 3 cm groß, wurde hierfür verwendet. Sie entspricht dem Brekzien-Mischtyp aus überwiegend mikritischem Hierlatzkalk und stellenweise C mit reichlich Kalzitklüften (siehe Taf. 9, Fig. 2). Die auf die Fraktion 0/5 mm gebrochene Probe von 12,9 kg wurde vor der analysenfeinen Aufmahlung verjüngt.

Die quantitativ chemische Analytik der Haupt-, Neben- und ausgewählten Spurenelemente, Totalanalyse von 24 Elementen, erfolgte mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (SPECTRO X-LAB 2000), der Glühverlust wurde gravimetrisch bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Mit Ausnahme der mikritar-men Ausbildung des Hierlatzkalkes, nämlich dem reinen und hellen Echinodermenschutt-kalk, der vermutlich ebenfalls chemisch rein ist, wurden die für den derzeit aktiven Steinbruchbereich charakteristischen Lithotypen erfasst.

Die kalziumkarbonatreichsten Proben 2 (Rhätolias-Riffkalk) und 4 (mikritischer Hierlatzkalk mit untergeordnet C)

Tabelle 1.  
Chemische Analysen der Haupt-, Neben- und Spurenelemente von vier Proben.

Probe-Nummer	1	2	3	4
<b>Prozent</b>				
SiO <sub>2</sub>	2,00	1,00	2,00	1,00
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,02	0,02	0,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,48	0,67	1,28	0,89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	0,08	2,10	0,18
MnO	0,05	0,02	0,82	0,05
MgO	0,99	0,58	0,56	0,77
CaO	52,30	54,30	51,10	53,70
Na <sub>2</sub> O	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
K <sub>2</sub> O	0,23	0,03	0,08	0,08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
SO <sub>3</sub>	0,09	0,07	0,09	0,08
Glühverlust	42,50	43,50	42,00	43,40
Summe	100,23	100,28	100,04	100,18
<b>ppm</b>				
Ba	32	17	584	20
Co	4	2	12	3
Cr	< 5	< 5	< 5	< 5
Cs	4	2	4	1
Cu	6	4	166	4
Ni	43	< 5	441	8
Pb	4	3	110	4
Rb	9	3	4	5
Sr	170	253	170	188
V	< 10	< 10	13	< 10
Y	7	3	10	10
Zn	19	8	40	18
Zr	9	< 1	12	4
Summe	307	294	1566	264
<b>Prozent</b>				
CaCO <sub>3</sub>	93,35	96,91	91,20	95,84
MgCO <sub>3</sub>	2,07	1,21	1,17	1,61
theoret. Rückstd.	4,34	1,82	6,30	2,23
CaCO <sub>3</sub> = CaO*1,7848                      MgCO <sub>3</sub> = MgO*2,0919 theoretischer, HCl-unlöslicher Rückstand = Summe (SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnO, K <sub>2</sub> O) Totalanalyse der 24 Elemente mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (SPECTRO X-LAB 2000); gravimetrische Bestimmung des Glühverlustes. Probe 1: Roter spikulitischer Kalklutit (= C). Probe 2: Rhätolias-Riffkalk. Probe 3: Schwarzer, Fe-Mn-gefärbter Kalklutit (= D). Probe 4: Ein an Kalzitklüften reicher Mischtyp aus überwiegend mikritischem Hierlatzkalk und C.				

werden zu den dominierenden Schichtgliedern der Brekzie gezählt. Dies bedeutet, berücksichtigt man zusätzlich, dass auch der an der Brekzie intensiv beteiligte helle Hierlatzkalk, der hier nicht analysiert wurde, nahezu nur  $\text{CaCO}_3$  enthalten dürfte, dass die Brekzie einen analytisch eruierten Kalziumkarbonatanteil um 96–97 % oder eventuell sogar darüber aufweist. In der anwendungsbezogenen Kalkrohstoffeinteilung von BENTZ & MARTINI, 1968, gilt hierfür die Bezeichnung „reiner Kalk“. In diesen reinen Rhätolias-Riffkalk- und Brekzien-Hierlatzkalk-Mischtyp-Proben 2 und 4 tritt weiters ca. 1,5 %  $\text{MgCO}_3$  auf und ein Salzsäure-unlöslicher Rückstand von ca. 2 %. Da in den allerdings ungefärbten Dünnschliffen keine Hinweise für Dolomit vorliegen, könnte der Magnesiumanteil im Kalzitgitter gebunden sein; der HCl-unlösliche Rückstand stammt von Silikaten und Quarz. Unter den Spurenelementen ist Strontium (253 ppm, 188 ppm) erwartungsgemäß mit dem Kalziumkarbonat positiv korreliert.

Anders verhält sich die chemische Zusammensetzung der jüngeren Schichtglieder, nämlich von Probe 1, Roter spikulitischer Kalklutit (C) und Probe 3, Dunkelroter bis schwarzer, Fe-Mn-gefärbter Kalklutit (D). Beiden gemein-

sam ist der niedrigere Kalziumkarbonatanteil, der bei 91–93 % liegt, sowie der etwa verdoppelte Quarz- und Silikatanteil (2 %  $\text{SiO}_2$ , >1 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und der verringerte Strontium-Gehalt (170 ppm). Dass der Eisenanteil (2- und 3-wertiges Eisen sind gemeinsam analysiert) auffallend an die Rot- und Schwarzfärbung gebunden ist, beweist seine Zunahme von Probe 2 (hellgraugrünlich), über die Probe 4 (rosa und rot/weiß) zu Probe 1 (intensiv ziegelrot) und Probe 3 (dunkelbraunrot-schwarz). Der Dunkelrote bis schwarze, Fe-Mn-gefärbte Kalklutit (Probe 3) bestätigt chemisch die mikrofazielle Analyse und lässt sich als ein an Eisen und Mangan angereicherter Kalkstein (mit 91 %  $\text{CaCO}_3$ ) mit einem relativ hohen Rückstandsgehalt umschreiben. Auffällig ist sein Spurenspektrum, das stark erhöhte Gehalte an Barium (584 ppm), Nickel (441 ppm), Kupfer (166 ppm) und Blei (110 ppm) aufweist, gefolgt von Zink (40 ppm).

Der Großteil der Schwammspiculae liegt kalzifiziert vor, ein erhöhter Kieselsäuregehalt ist im gesamten Komplex der Schichtglieder Hierlatzkalk und C, soweit zugänglich, dennoch nicht feststellbar.

## Tafel 1

### Stratigraphisches Profil

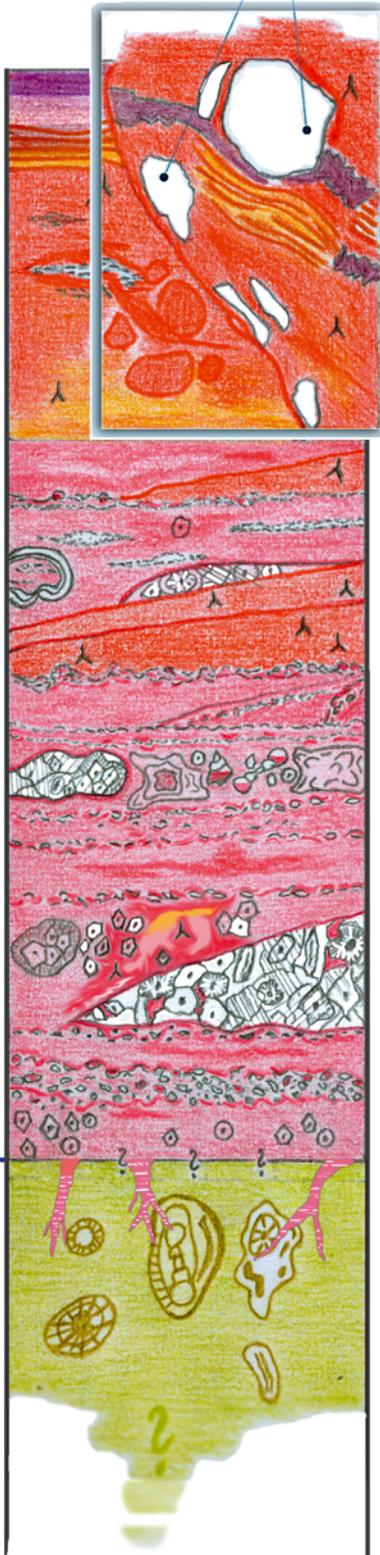
Schematisches stratigraphisches Profil, ohne Maßstab, aus der unter dem Namen „Schwarzenseemarmor“ bekannten Brekzie rekonstruiert.

- 1) RLi  
„Oberrhätalk“  
Als Rhätolias-Riffkalk sensu FABRICIUS (1959) rhätischen bis tiefliassischen Alters. Oosparit, angesetzte Ooidbildung, nachfolgender Übergang in Aggregatkorn-Fazies. Vermuteter Direktkontakt zum Hierlatzkalk.
- 2) H  
Hierlatzkalk (biostratigraphisch belegt Hettangien)  
Pelmikritischer bis pelsparitischer Echinodermen-(Crinoiden-)Spatkalk bis Kalklutit mit Gastropoden, Bivalven, Brachiopoden, Ostracoden, Foraminiferen, Ammoniten (Häufigkeitsreihung der wichtigsten Biogene).  
Mengenverhältnis Echinodermenspatkalk – lutitische Matrix wechselnd.  
Eingeschaltet schmale, pelsparitische Sedimentdiskontinuitäten durch Ausschwemmung.
- 3) HZM  
(2) mit Zunahme unauffälliger Diskontinuitäten und diskordant sedimentär aufliegendem (4).
- 4) ZM  
Roter spikulitischer Kalklutit, C  
Ockerfarbener, hauptsächlich aber ziegel- bis lachsroter, feiner Kalklutit mit Biogenfeindetritus, Schwammnadelanteil wechselnder Dichte (nie bis zur Spikulitdichte).  
Mikrofaziell: Spikulitischer, detritischer Biomikrit.  
Partienweise undeutliche Knolligkeit. Diesem Gefüge nach ist es durchaus zulässig, eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Adneter Kalk zu sehen.
- 5) KFe-Mn  
Dunkelroter bis schwarzer, Eisen-Mangan-gefärbter Kalklutit, D  
Sparitisch gebundener Biogenfeindetritus, stark Fe-Mn-infiltriert, dennoch ohne jede Krustenbildung.

Anmerkung: Für (3) bis (5) werden mangels passender etablierter stratigraphischer Begriffe aufgrund der eigenständigen Entwicklung des oberen Abschnittes des Profiles die obigen Hilfsterni verwendet.

**LIAS** unterer bis (vermuteter) mittlerer Lias

Beibild  
Komponenten in an Störungsflächen mobil gewordenen jüngsten, noch unverfestigten Sedimentabschnitten



(5) KFe-Mn



Dunkelroter bis schwarzer, Fe-Mn-gefärbter Kalklutit

(4) ZM



Roter spikulitischer Kalklutit

(3) HZM



Wiederholte, sedimentäre, diskordante Wechsel zw. (2) u. (4)

(2) H Hierlatzkalk



Zwischengefügte pelsparitische Sedimentdiskontinuitäten (Feinlagen, "Zeilen": Ausschwemmung)

(1) RLi Rhätolias-Riffkalk



Einfachooide, Kornaggregate etc.



Echinodermen, vorwieg. Crinoiden



Schwammspiculae



Ammoniten, Gastropoden etc

Ober-  
rhät

**RHÄT**

**NOR**

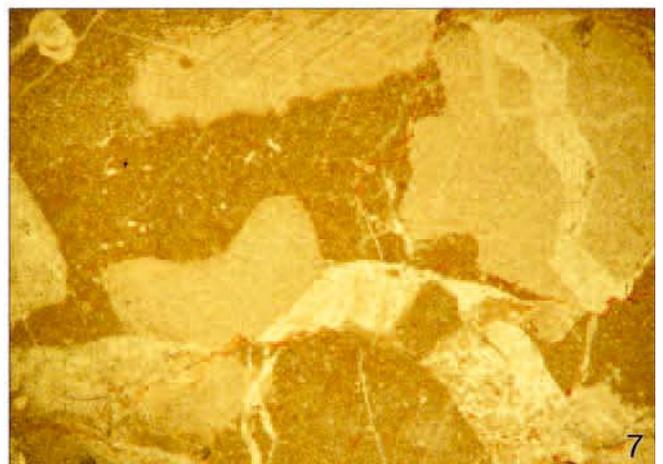
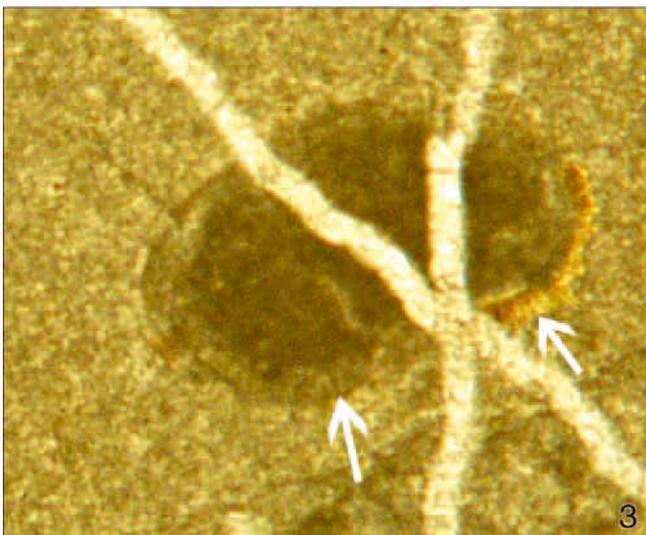
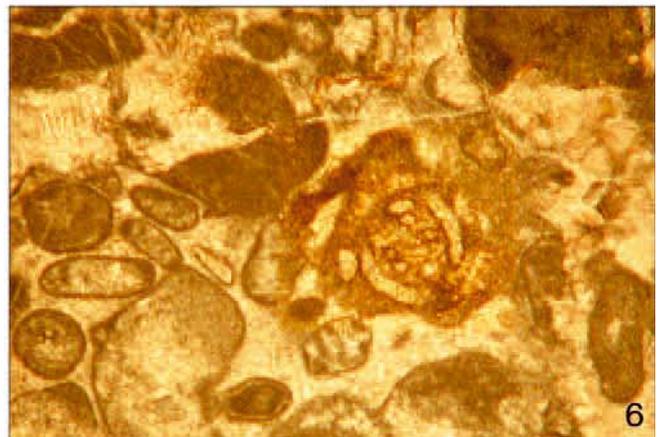
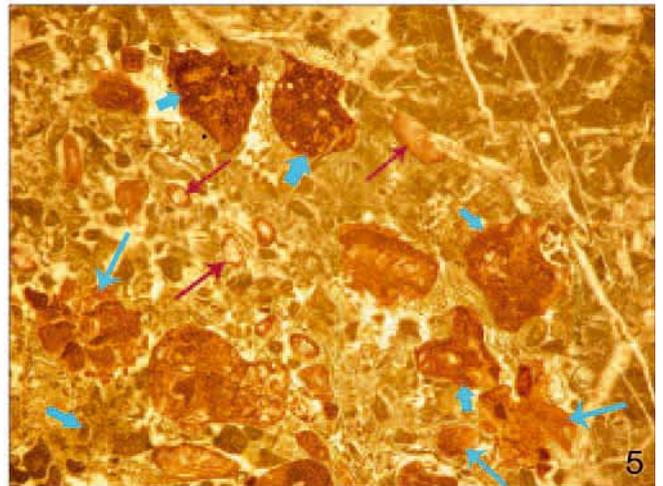
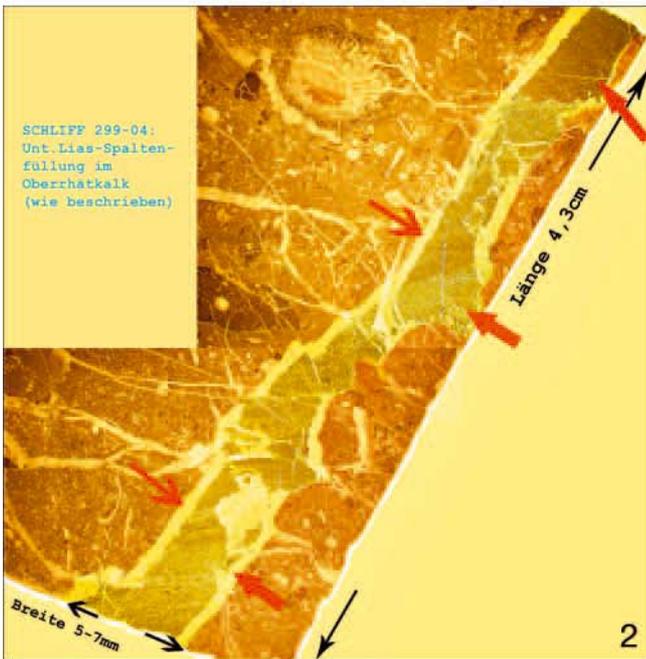
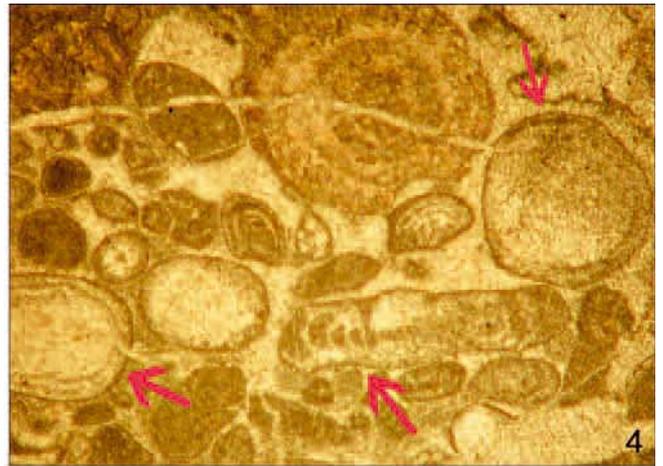
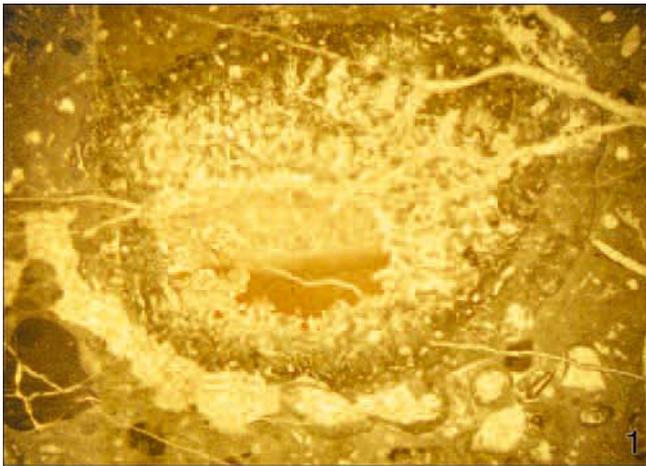
---

## Tafel 2

### Mikrofazies

Rhätolias-Riffkalk  
Hierlatzkalk

- Fig. 1: Stark im Zerfall begriffener Korallenrest im Rhätolias-Riffkalk.  
Zeigt rötliches Internsediment und Sparithaube (Geopetalgefüge), eine ausgewaschene Auflagefläche, randliche Mikritisierung, wahrscheinlich mechanisch angelagert, und aus dem Zerfall resultierenden „Korallensand“ im näheren Umfeld (Hartteilzerfallsprodukt).  
Detail aus Figur 2. Bildlänge 1 cm.
- Fig. 2: Spalte im Rhätolias-Riffkalk.  
Biomikrit mit großen Kornaggregaten, teilweise mikritisierten Einfachooïden etc. Mehrfachöffnung: erste dicke kalzitische Spaltenrandauskleidung und nachfolgende pelsparitisch-pelmikritische Füllung durch Hierlatzkalk, teilweise diskordant voneinander absetzende Füllungsabschnitte durch tektonisch verursachte Änderungen der Spaltenneigung.
- Fig. 3: Ooid aus dem Rhätolias-Riffkalk.  
Mikritisierter „Kern“, Ooidschale an den von den Pfeilen markierten Stellen noch erkennbar (Einfachooïd, radialfibrös).  
Bildlänge 0,7 mm.
- Fig. 4: Rhätolias-Riffkalk.  
Oosparit mit teilweise noch gut erkennbarer ursprünglicher Ooidbildung mit großen, typischen Foraminiferen als Kerne der Ooide (mit später teilweise mikritisierten Umrandungen). Oben Mitte: Rest einer nicht hermatypen Koralle.  
Bildlänge 3 mm.
- Fig. 5: Ursprünglich Oosparit, oft mit großen Foraminiferen als Kerne.  
Angesetzte und wieder abgebrochene Ooidbildung, Übergang in Aggregatkornfazies, teilweise mikritisch überprägte Matrix.  
Kornaggregate in verschiedenen Bildungsphasen, Ooide in die Aggregatkörner oft einbezogen.  
Bildlänge 8,5 mm.
- Fig. 6: *Glomospira* (und kleinere Involutiniden) im gleichen Milieu wie Fig. 4.  
Bildlänge 2,8 mm.
- Fig. 7: Mikritische Variante des Hierlatzkalkes mit gering zementierten Echinodermen.  
Dies weist auf rasche Eindeckung hin. Mikritische Matrix, wie hier häufig mit Schwammnadeln.  
Bildlänge 4,8 mm.
-



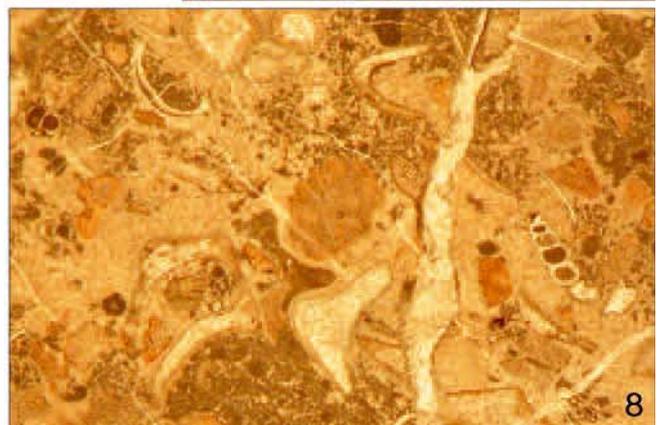
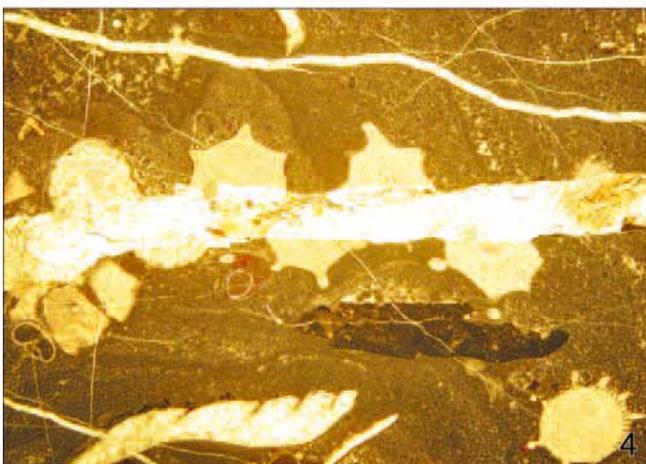
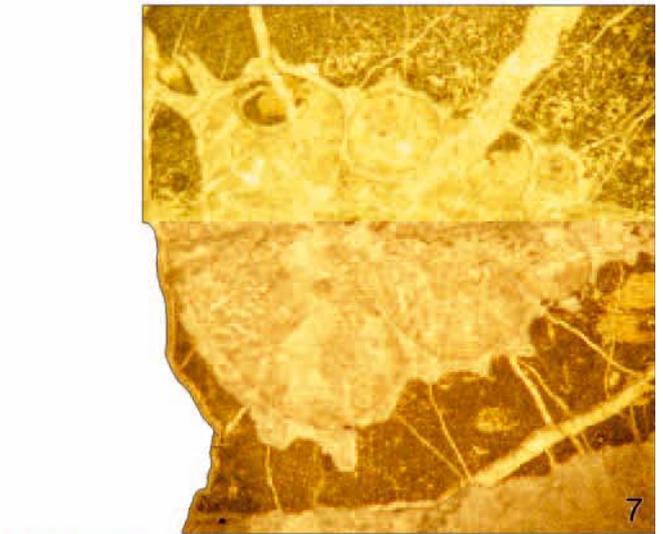
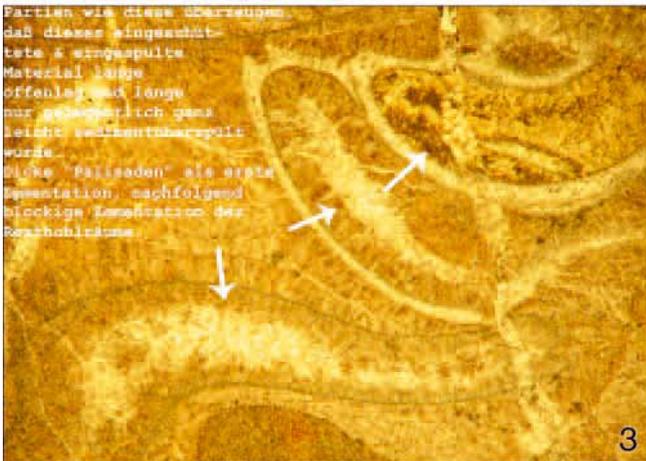
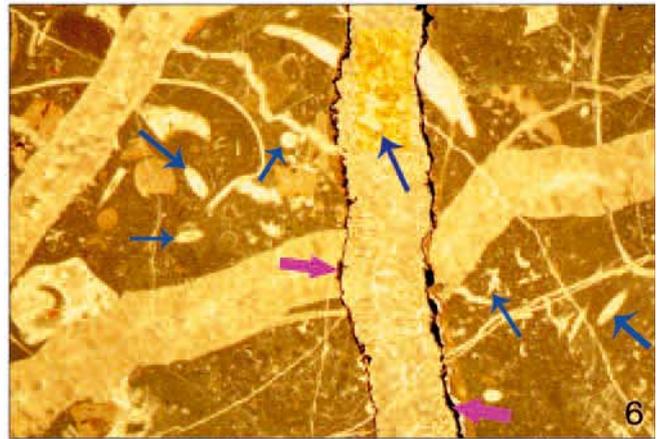
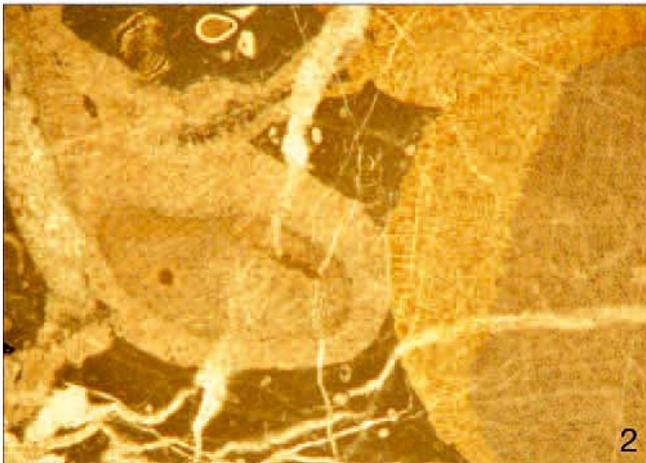
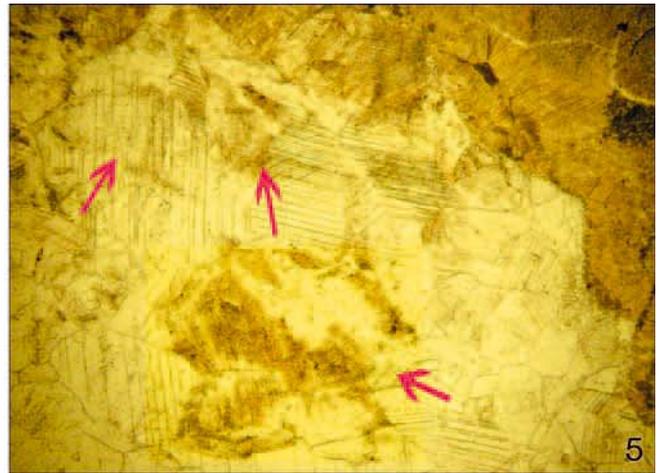
---

## Tafel 3

### Mikrofazies

#### Hierlatzkalk

- Fig. 1: Hierlatzkalk, Echinodermen-(Crinoiden-)Biosparit.  
Reiner Crinoidensand (Echinodermenspatkalk). Crinoiden mit randlich erhaltener Siebstruktur und Rotpigmentinfiltration. Einkristall-Lamellen mit syntaxialem Weiterwachsen.  
Jüngere, feinnadelige Zementgeneration auf der Syntaxialrinde (li. ob.)  
Bildlänge 3,1 mm.
- Fig. 2: Echinodermen-Biogene mit erster dicker teilweise radiaxial-fibröser, teilweise blockiger Zementation, nachfolgende Mikriteinschwemmung.  
Vgl. Taf. 2 Fig. 7. Wenige Ostracoden, Schwammnadeln und Foraminiferen.  
Bildlänge 5,5 mm.
- Fig. 3: Rekristallisierte Biogenreste mit rascher radiaxial-fibröser erster Zementation und zweiter blockiger Zementation der Resthohlräume.  
Bildlänge 5 mm.
- Fig. 4: Beispiel für ein Feingefüge mit Sedimentfang und an sehr frühen Spalten auseinandergezogenen und leicht in Spaltenrichtung verschobenen Biogenen.  
Bildlänge 7 mm.
- Fig. 5: Kompaktierte Echinodermenreste, außen radiaxial-fibrös zementiert, innen Einkristall-Lamellen, z.T. syntaxiales Weiterwachsen, mit teilweise noch schemenhaft erkennbaren Echinodermenresten (Pfeile).  
Bildlänge 6 mm.
- Fig. 6: Mikritischer Hierlatzkalk mit Echinodermenbioklasten und Schwammnadeln.  
Mehrere Spaltengenerationen: dünn auspigmentierter jüngerer Aufbruch, später zur Spalte geöffnet. Füllung aus Echinodermenschutt (gelb), samt Hohlräumen zementiert.  
Bildlänge 11,7 mm.
- Fig. 7: Häufig sind Gastropoden im Hierlatzkalk.  
Absichtlich farblich getrenntes, schönes Unten-Oben mit oben weitgehend abgetragener Ornamentierung und beschädigter Schale (mit eingedrungenem Sediment). Unten pelmikritischer, oben pelsparitischer Hierlatzkalk (Schalenbereich: Ausschwemmung und Sedimentfang in den Unebenheiten).  
Bildlänge 6 mm.
- Fig. 8: Hierlatzkalk, pelsparitisch, mit Gastropoden (oben und Mitte rechts), Schalenbruch, vorwiegend aber Echinodermen.  
Schwach ausgeschwemmtes, pelsparitisches Milieu, das sich im Hierlatzkalk des Schwarzenseemarmors immer wieder findet.  
Dicker radiaxial-fibröser Zement auf z. T. stark angelösten Biogenen, blockige Resthohlraumfüllungen.  
Bildlänge 9 mm.
-



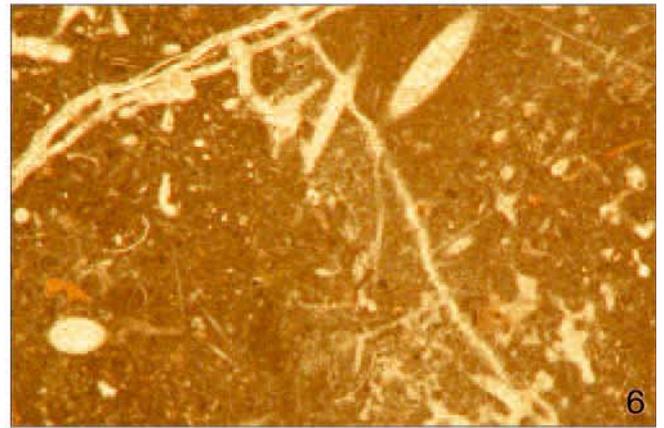
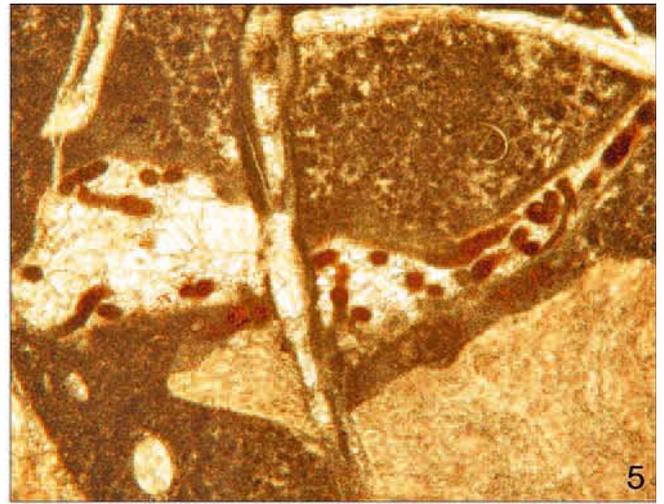
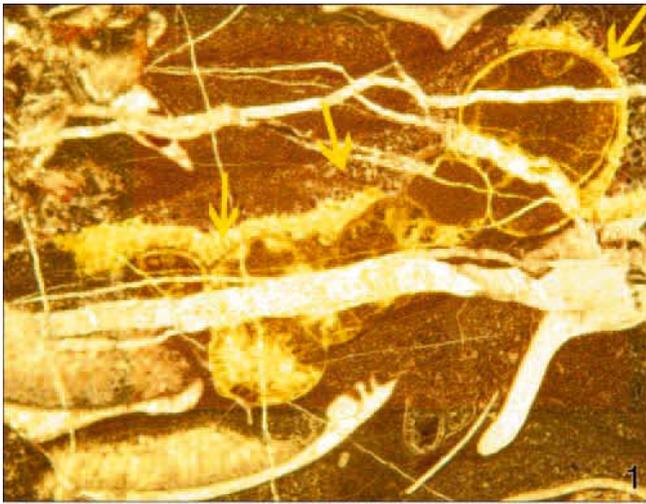
---

## Tafel 4

### Mikrofazies

#### Hierlatzkalk

- Fig. 1: Ammoniten im Hierlatzkalk.  
Mögliche Zugehörigkeit zur Gattung *Psiloceras* (unterster Lias). Trennung des Gehäuses durch Aufspaltung (ohne Lateralversetzung). Anbohrung im Sediment unter der Ammonitenschale (rechts). Oben-unten-Gefüge mit zementierter Oberseite. Pelsparitischer Hierlatzkalk in der Schalenvertiefung auf der Oberseite (Einschwemmung, Sedimentfang in der Einsenkung der Schale).  
Bildlänge 6,2 mm.
- Fig. 2: Detto wie Figur 1.  
Von mehreren Spalten aufgebrochener Ammonit, mögliche Zugehörigkeit zur Gattung *Psiloceras* (unterster Lias). Teils pelsparitisch aufsedimentierte Resthohlräume der Schale, restlicher Schaleninnenraum zementiert.  
Bildlänge 5,8 mm.
- Fig. 3: *Involutina liassica* (JONES).  
Immer nur vereinzelt, aber im (hier pelsparitischen) Hierlatzkalk durchgehend vorhanden.  
Bildlänge 1,3 mm.
- Fig. 4: *Involutina turgida* KRISTAN-TOLLMANN.  
Im gesamten Hierlatzkalk vertreten, aber immer vereinzelt. Pelsparitischer Hierlatzkalk mit Echinodermen (u. ?pseudopunktater Brachiopodenschalenrest). Synsedimentärer Aufbruch schert letzten Umgang lateral ab (links oben). Gehäuse rekristallisiert, Kammerlumen mit Rotpigmentfüllung.  
Bildlänge 1,2 mm.
- Fig. 5: Pelsparitischer bis pelmikritischer Hierlatzkalk.  
Fein angebohrte Bioklasten (wahrscheinlich cyanobakterienverursacht!) sind häufig.  
Bildlänge 2,5 mm.
- Fig. 6: Lutitischer Hierlatzkalk. Varietät mit (pel-)mikritischer Matrix.  
Beispiel für lokale Verdichtung von Schwammnadeln im Nahbereich zerfallender Schwammreste.  
Bildlänge 5,5 mm.
- Fig. 7: Mikritischer Hierlatzkalk, rasch eingesedimentierter, kaum zementierter, typischer Biogeninhalt: Echinodermen (Crinoiden), Gastropoden (rechts unten: Geopetalgefüge), Ammoniten etc.  
Ältere und jüngere Spaltengeneration, erstere mit kalzitischen Wandtapeten, Rotpigmentierung und frühdiagenetisch (unverfestigt) auseinandergezogenen und verschobenen Biogenen (ohne Bruchreaktion), im Gegensatz zu Brüchen der Sprödphase (eckige Sedimentkomponenten vermischt mit Kristallgrus, unzulänglich verheilt), linker Bildrand.  
Bildlänge 1,5 cm.
- Fig. 8: Pelmikritisch-pelsparitisch wechselnder, durch Verstellungen bereits in Bewegung geratener Hierlatzkalk mit diskordant aufliegenden, schmalen Einschaltungen des roten spikulitischen Kalklutites C (als Ankündigung des bevorstehenden Sedimentationsumschwunges).  
Bildlänge 8 mm.
-



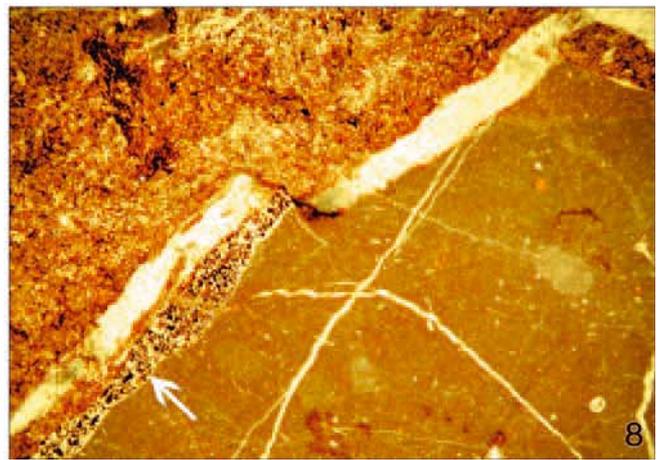
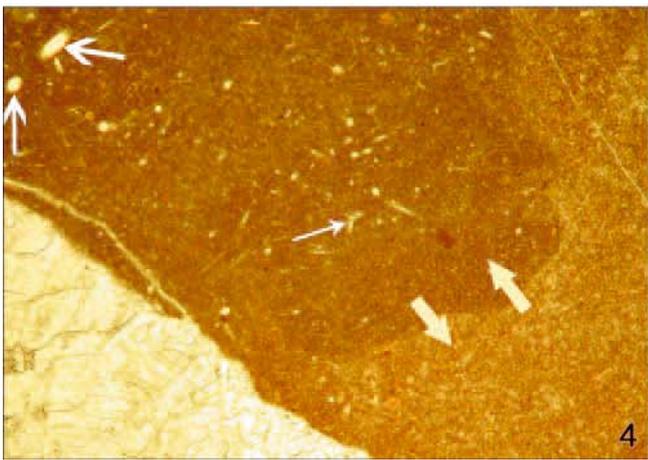
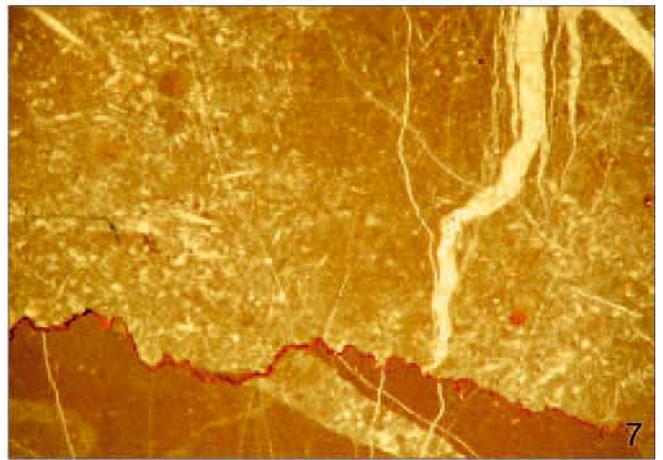
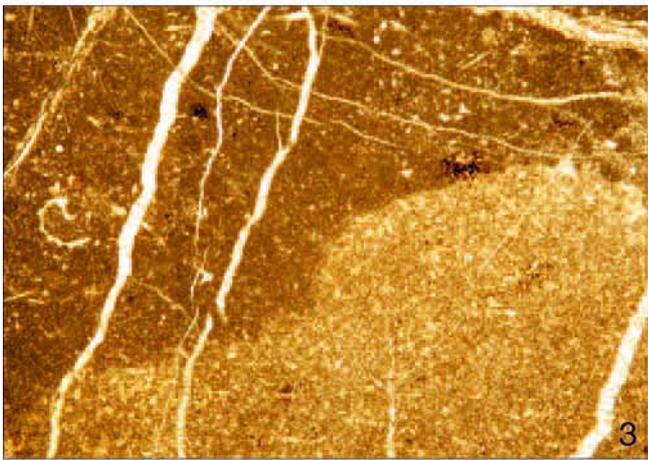
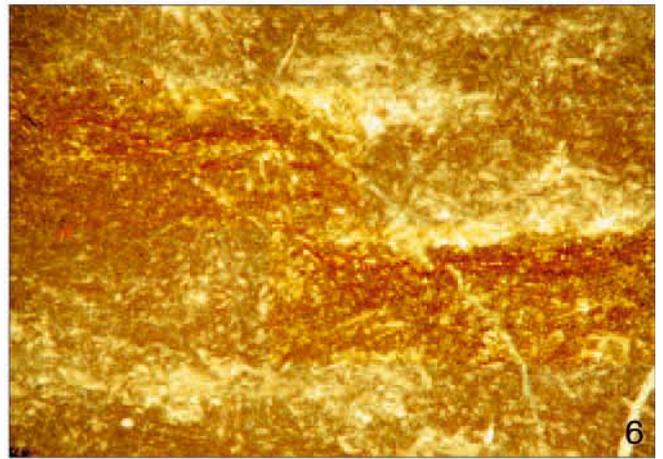
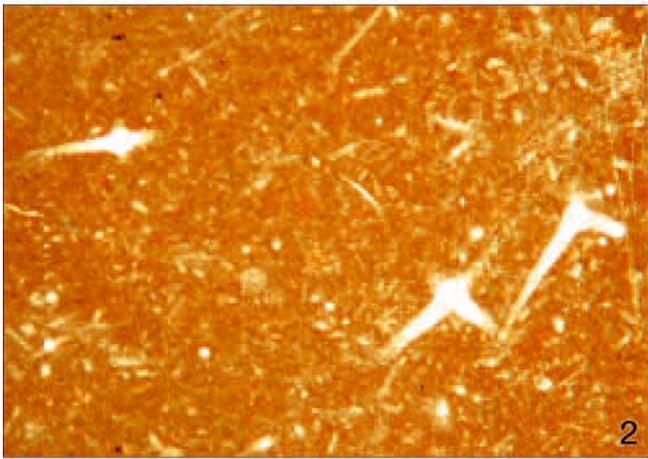
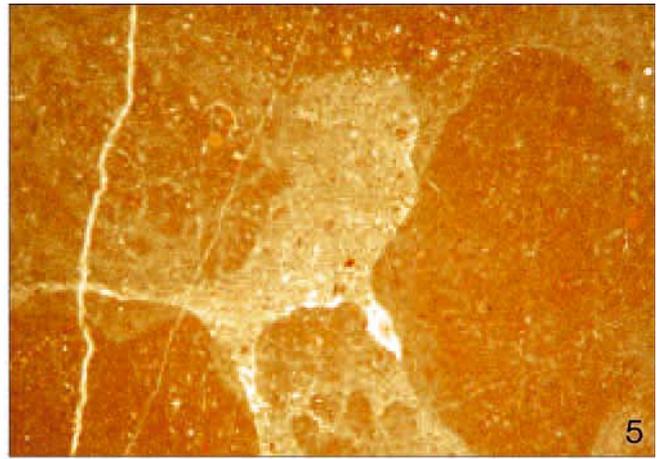
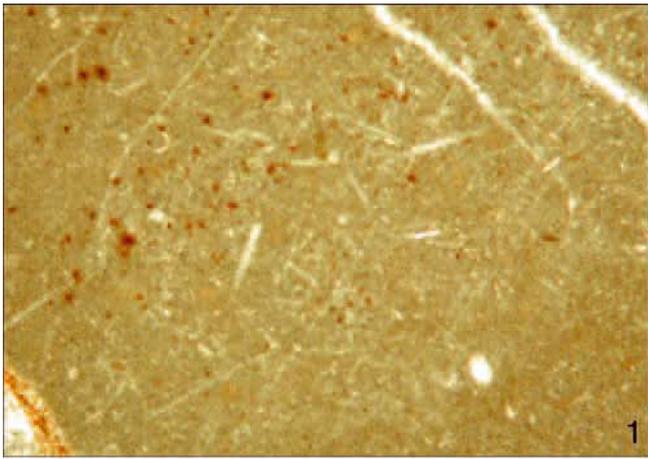
---

## Tafel 5

### Mikrofazies

#### Roter spikulitscher Kalklutit C

- Fig. 1,2: Ockerfarbener (Fig. 1) und roter (Fig. 2) wechselnd kalzitisch rekristallisierte Kieselschwammnadeln führender C.  
Bildlänge: 2,3 mm Fig. 1; 2,1 mm Fig. 2.
- Fig. 3,4: An vorerst undeutlichen Grenzen zur Ausbildung knolliger Gefüge neigender C. Im frühen Stadium werden „Knollengrenzen“ zunächst beinahe nur von der unterschiedlichen Packungsdichte markiert.  
Fig. 4: dünne Pfeile Schwammspiculae, dicke Pfeile „Knollengrenzen“.  
Bildlänge: 5,2 mm Fig. 3; 4,2 mm Fig. 4.
- Fig. 5: Diagenetisch fortgeschritteneres, deutlich kleinknolliges Gefüge, noch ohne Drucksuturen.  
Der Hohlraum zwischen den Knollen besteht aus restlichen freien Sedimentpartikeln und Biogenen und ist typischerweise netzartig sparitisch aufgelockert. Bewegungsgefüge (wie bei FLÜGEL [1978] mit „lokale Gleitungen des gering verfestigten Sedimentes“ beschrieben).  
Bildlänge 4 mm.
- Fig. 6: Schwache, stylolithenfreie Rotpigmentierung in mikritischen, kondensationsbedingt detritusverdichteten Sedimentpartien von C als deutliches Anzeichen für an solchen Inhomogenitäten leichter in Gang geratene Sedimentbewegungen (Gleitungen).  
Bildlänge 5 mm.
- Fig. 7: Nebeneinander von dicht detritusgepacktem und detritusarmem rotem spikulitischem Kalklutit, C, getrennt durch stylolithisierten, rot pigmentierten Saum.  
Aus dem Dünnschliff geht hervor, dass es sich um eine stylolithisierte Kontaktfläche zwischen ehemals in Bewegung geratenen Sedimentpartien handelt.  
Bildlänge 5,2 mm.
- Fig. 8: Sedimentärkontakt zwischen C (rechts) und D (links), mit Schichtlücke, auf dieser Figur nur von hauchdünner Fe-Mn-pigmentierter Auflage zwischen beiden Gliedern repräsentiert (Pfeil).  
Bildlänge 6,3 mm.
-



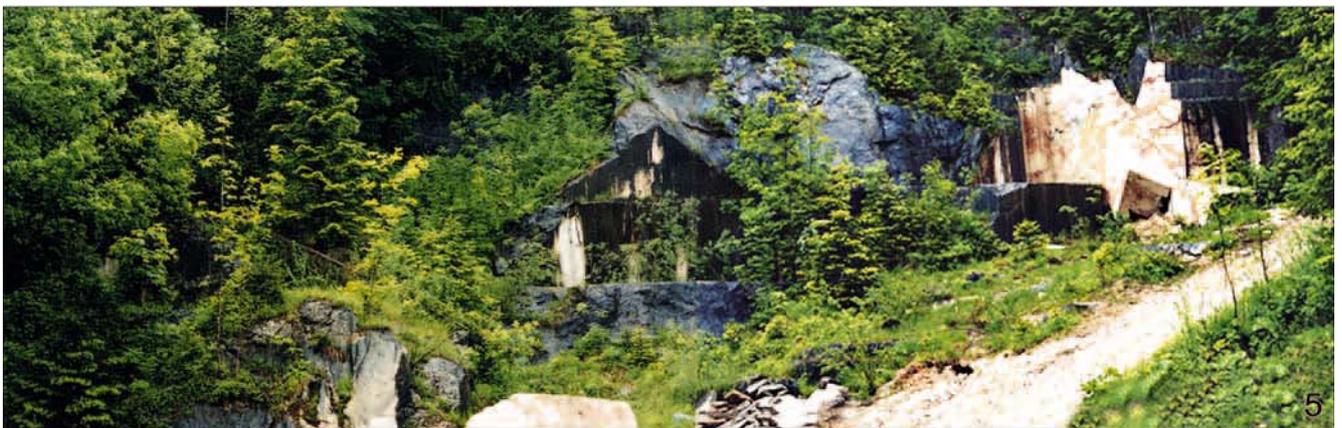
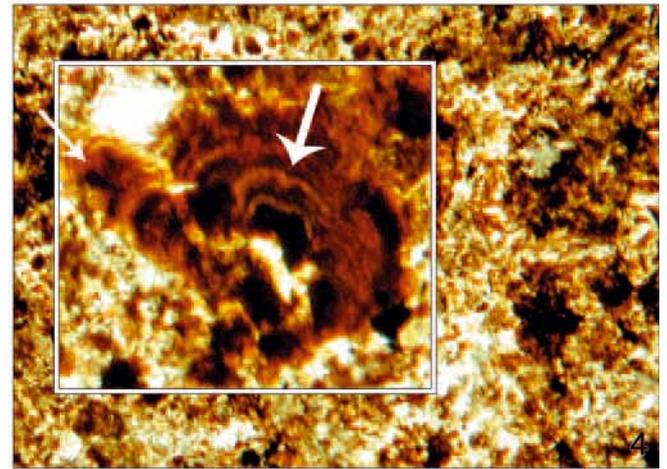
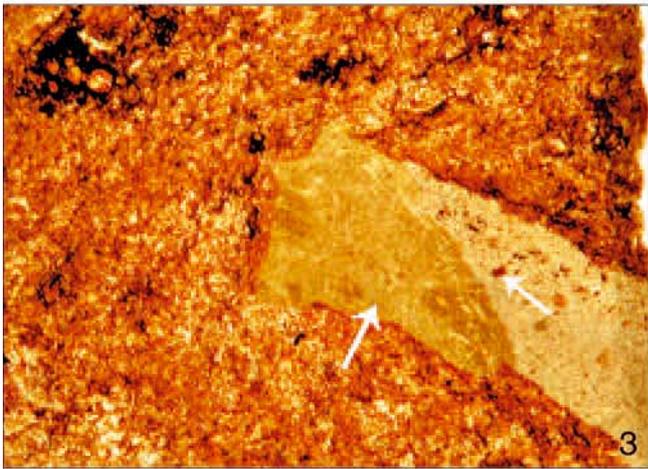
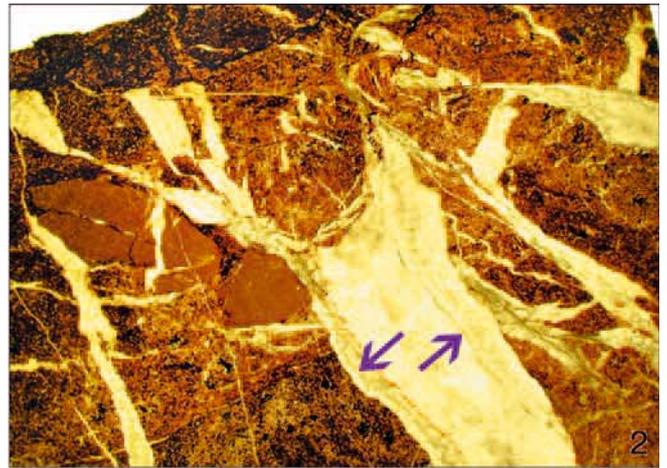
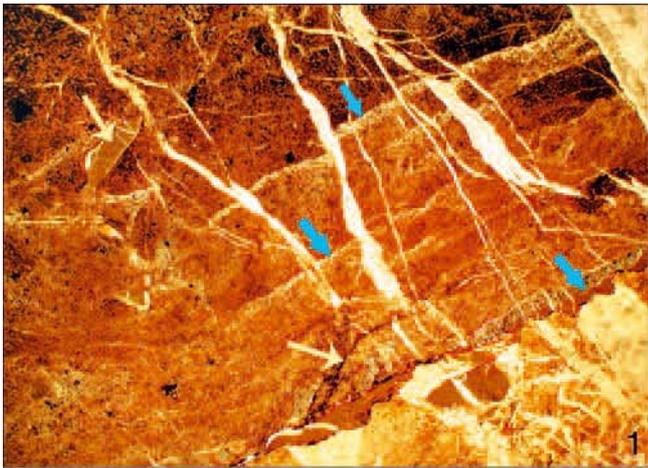
---

## Tafel 6

### Mikrofazies

Dunkelroter bis schwarzer, Fe-Mn-gefärbter Kalklutit D; Steinbruch; Verwendungsbeispiele

- Fig. 1: Bereich der Abfolgeglieder C und D, Schichtlücke. Übergänge in D, teils über rotpigmentgesäumte Relikte von C (unten Mitte), teils mit gänzlich erhaltenem Sedimentärkontakt über die in Taf. 5, Fig. 8 beschriebene Auflage (unterster blauer Pfeil). Im dunklen Abschnitt D besonders schön erkennbar die hochkondensierte auslaufende Restsedimentation mit aus totalen Sedimentationsausfällen resultierenden Diskontinuitäten (weiße, parallele, zeilenartige Unterbrechungen) und syndimentären (weichen) Gleitungen und Versackungen (gelber Pfeil unten). Der gelbe Pfeil oben bezeichnet eine der im Text beschriebenen Brekzienkomponenten.  
Bildlänge 2,9 cm.
- Fig. 2: Oberster, dunkelster Abschnitt von D, mehrfach erweiterte Spalte (Pfeile) mit unverfestigt nachgesacktem Sediment (über der oberen Spaltenbegrenzung) und Brekzienkomponenten (links).  
Im Bild oben dunkler Mn-oxidisch dominierter Abschluss. Keine Krustenbildung!  
Bildlänge 2,15 cm.
- Fig. 3: Aus C stammender Intraklast (Resedimentation in D, wie im Text beschrieben).  
Bildlänge 3,5 mm.
- Fig. 4: In den kondensierten, Fe-Mn-oxidischen jüngeren Schichtgliedern C und D als Seltenheiten auftretende „cauliflower structures“ (im Sediment migrierende kolloidale Fe- und Mn-Lösungen).  
Bildlänge 0,7 mm.
- Fig. 5: Ansicht des Steinbruchgeländes von Süden.  
Die Transportrampe rechts im Bild führt zum jüngsten abgebauten Teil im Osten.
- Fig. 6: Die noch frischen Wände im Ostteil des Bruches, auf die sich die Bearbeitung konzentrierte.  
Blickrichtung WNW.
- Fig. 7: Beispiel für eine Massivarbeit aus Schwarzenseemarmor.
- Fig. 8: Verwendungsbeispiel für den Schwarzenseemarmor.  
Bei Erneuerungen im Wiener Burgtheater wurde im Foyer der Fußboden aus „dem roten, weiß geaderten Marmor vom Schwarzensee ober St. Wolfgang O.Ö., in radialer Fugeneinteilung“ verlegt.  
„Für die Stiegegeländer und Balustraden wurden ‚hellbunte‘ Marmore aus dem gleichen Steinbruch genommen (ca. 200 Baluster)“ – (KIESLINGER, 1972).
-



---

## Tafel 7

### Steinbruchwände

Fig. 1: Ansicht zweier unlängst gesägter, feuchter (durch Sägeriefen farblich etwas gedämpfter) Steinbruchwände (4 x 6 und 2 x 7 m). Probe 4 markiert. Große, blaugraue Komponenten: Rhätolias-Riffkalk. Weißlich-rötliche und gedämpft bis stumpf rote gehören meist zum Hierlatzkalk (teils mit lutitischen Matrix, Makrofossilien wie große Crinoiden, Gastropoden, Cephalopoden etc.). Trotz nahezu chaotischer Zerlegung der beteiligten Sedimente finden sich die jüngeren Abfolgeglieder, C und D, zum Brekzien-Oben hin häufiger, wenngleich beide auch in den tiefsten zugänglichen Partien nicht fehlen. Teils unverfestigt und damit als Komponentenmatrix beteiligt, teils plastisch, teils sogar noch – allerdings verschoben, verkippt, zerflossen – im Verband erkennbar, deuten sie damit ihre ehemalige stratigraphische Position an.  
Hintergrund: Alte „Loch-an-Loch-Abbohrtechnik“ (vor 1985).

Fig. 2: Südwand, 6 x 7 m (Streichen 123/303). Rosa bis gedämpft roter Hierlatzkalk und Rhätolias-Riffkalk. Große Rhätolias-Riffkalk-Komponenten (blaugrau, blaugrün), in Nachbarschaft mit teils deutlich plastischem Hierlatzkalk. Abgerissener und versetzter, dünn ausgekneteter, wellig verbogener D (oben). Gut erkennbar plastisch-matrixartig fungierender C. Zwei mächtige Störungen, links mit glattem Harnisch, rechts offen. Sie sind vermutlich auch noch mit der „Sprödphase“ in Verbindung zu bringen, möglicherweise aber auch viel jünger.

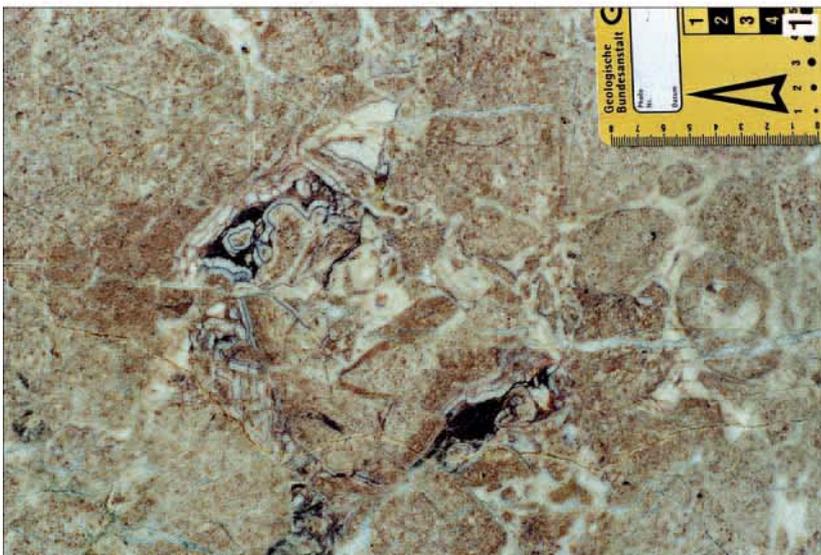
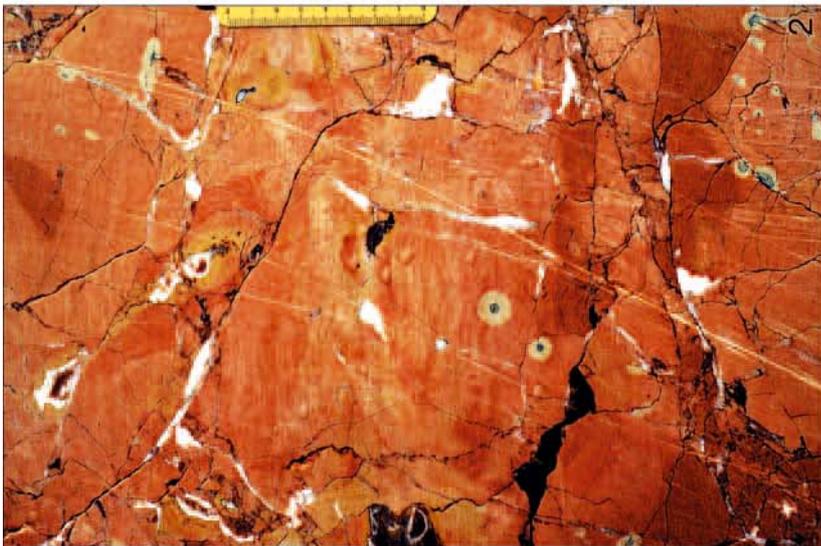


---

## Tafel 8

### Sediment- und Brekziengefüge

- Fig. 1: Gravitativ-mechanisch zwischen noch gut plastischen Komponenten des Hierlatzkalkes aufgegangene neue, jüngere Hohlräume. Sie werden von breiten, palisadenartigen Kalzitsäumen mehrerer Generationen randlich ausgekleidet, deren jeder mit Mikrorotpigmentsaum vom nächsten getrennt ist. Resthohlräume teilweise noch offen, teils jüngstsedimentgefüllt und/oder pigmentiert.
- Fig. 2: Brekzierter, in Klüften und Zwickeln mit mobilem D gefüllter und dunkel pigmentierter C in Ziegelrot und Beige, der auch in den Komponenten noch die beschriebenen Bewegungsgefüge erahnen lässt. Große und kleine ockerfarbene Höfe im roten Sediment, mit dunklem „Kern“, sind wohl mit Farbumschlägen um kleine, sich halmyrolysebedingt zersetzende (verwitternde) Pyrite oder Markasite erklärbar.
- Fig. 3: In einem obersten Wandbereich entdeckt: Hierlatzkalk, C und D in ihren unterschiedlichen Diagenesestadien. Plastische Hierlatzkalkkomponente, teils nahezu nahtlos mit C verbunden (linker Bildrand, oberes Drittel und rechts davon etc.). Aus einem unverfestigten, kluffüllenden D mit mitgeführten kleinen Komponenten aus Hierlatzkalk und C (unten) treiben feine Sedimentanteile und Pigmente von D ein feines dunkles Netz in aufgebrochenen C. Obwohl C in der ockerfärbigen Varietät vorliegt (primäre Sedimentfärbung wenig durchbewegter, noch nicht extrem kondensierter älterer Anteile), konnte der Fe-Mn-oxidische, dunkle D Randbereiche von C doch noch breit dunkelrot einfärben.
- Fig. 4: Kantig aufgebrochene Spalte in mächtiger Rhätolias-Riffkalk-Komponente (hier mit in tiefen Wandbereichen auftretendem, braunem und schwarzem D). Gering verfestigt – plastischer D wird zwischen den der Längsachse nach verschobenen Spaltenwänden auseinandergezogen und nahtlos in diesen kantigen Aufbruch eingeknetet.
- Fig. 5: Ausschnitt aus einer polierten Platte mit Basalabschnitt von D (Beschreibung dieser Abfolge siehe Text Kap. 5.4., oben). Der graue Klast ist eine Rhätolias-Riffkalk-Komponente, mit rot pigmentierten, mit feinen Sedimentpartikeln gefüllten Klüftchen und besonders großen involutiniden Foraminiferen.
-



---

## Tafel 9

### Brekziengefüge

- Fig. 1: Roter Hierlatzkalk mit hohem calcilitischem Matrixanteil und mit lagig eingeschwemmten großen Biogenen (Gastropoden). Späterer Aufbruch mit matt schwärzlich-violetter Füllung aus D. Hervorgerufen wurde dies dadurch, dass D mit großen (10 cm Durchmesser), kleinen und kleinsten Komponenten dichtest durchmischt vorliegt. Bildbreite 50 cm.
- Fig. 2: Kräftiger fleischrote, feine Partien mit mehr mikritischer (calcilitischer) Matrix in zartrottem und rosafärbigem, Echinodermen führendem sparitischem Hierlatzkalk. Oberseite der für die chemisch analysierte Probe 4 verwendeten, 3 cm dicken Platte. Anschluss der Platte im Steinbruch siehe Taf. 7 Fig. 1.
- Fig. 3: Vergrößerter Bereich, ca. 2 m hoch, aus Taf. 7, Fig. 1. Mobil, in der Hauptbrekziierungsphase in Bewegung geratener, aber noch einigermaßen erhaltener C-D-Verband (siehe auch Beibild zum Profil, Taf. 1, und Beschreibung in 5.4.!). C und D fungieren in solchen Abschnitten fast nur als Matrix (unverfestigt-mobil). Die wiederholten dunklen Lagen (unten) könnten den im Zug der Bewegung auseinandergezogenen oder durch Über-einandergleiten der Lagen verdoppelten Basalabschnitt von D darstellen.



## Literatur

- BENTZ, A. & MARTINI, H.J. (Eds.): Lehrbuch der Angewandten Geologie. Geowissenschaftliche Methoden I: Methoden zur Erforschung der Lagerstätten von Erzen, Kohle, Erdöl, Salzen, Industrie-Mineralen und Steinen und Erden. Band II, Teil I. – 1355 S., Stuttgart (Ferdinand Enke) 1968.
- BÖHM, F.: Mikrofazies und Ablagerungsmilieu des Lias und Dogger der Nordöstlichen Kalkalpen. – Erlanger geol. Abh., **121**, 57–217, Erlangen 1992.
- BÖHM, F. & BRACHERT, T.: Deep-water Stromatolites and *Frutaxites* MASLOV from the Early and Middle Jurassic of S-Germany and Austria. – *Facies*, **28**, 145–168, 9 Figs., Erlangen 1993.
- BÖHM, F., DOMMERGUES, J.-L. & MEISTER, C.: Breccias of the Adnet Formation: indicators of a Mid-Liassic tectonic event in the Northern Calcareous Alps (Salzburg/Austria). – *Geol. Rundsch.*, **84**, 272–286, Stuttgart 1995.
- FABRICIUS, F.H.: Vorschlag zur Umbenennung von „Oberrhätalk“ in „Rhätolias-Riffkalk (Nördliche Kalkalpen)“. – *N. Jb. Geol. Paläontol. Mh.*, **1959**, 546–549, a Abb., Stuttgart 1959.
- FABRICIUS, F.H.: Beckensedimentation und Riffbildung an der Wende Trias/Jura in den bayerisch-tiroler Kalkalpen. – *International Sedimentary Petrographical Series*, Vol. **9**, 143 S., 24 Abb., 7 Tab., 27 Taf., Leiden 1966.
- FLÜGEL, E.: Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. – 454 S., Berlin – Heidelberg – New York (Springer) 1978.
- FLÜGEL, E.: *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application.* – 976 S., Berlin – Heidelberg (Springer) 2004.
- K.K. GEOLOGISCHE REICHSANSTALT: *Catalog ihrer Ausstellungsgegenstände bei der Wiener Weltausstellung 1873.* – 200 S., Wien (Leop. & Mor. Deutsch) 1873.
- KIESLINGER, A.: *Die nutzbaren Gesteine Salzburgs.* – 436 S., Salzburg – Stuttgart (Das Bergland-Buch) 1964.
- KIESLINGER, A.: *Die Steine der Wiener Ringstraße.* – 665 S., Wiesbaden (Franz Steiner) 1972.
- PLÖCHINGER, B.: *Geologische Karte des Wolfgangseegebietes 1 : 25.000.* – Wien (Geol. B.-A.) 1972.
- PLÖCHINGER, B.: *Erläuterungen zur Geologischen Karte des Wolfgangseegebietes (Salzburg, Oberösterreich) 1 : 25.000.* – 92 S., Wien (Geol. B.-A.) 1973.
- TOLLMANN, A.: *Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums.* – 580 S., Wien (Franz Deuticke) 1976.
- VAN HUSEN, D.: *Geologische Karte der Republik Österreich 65 Mondsee 1 : 50.000.* – Wien (Geol. B.-A.) 1989.
- WENDT, J.: *Stratigraphische Kondensation in triadischen und jurassischen Cephalopodenkalken der Tethys.* – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1970**, 433–448, Stuttgart 1970.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 28. April 2005