

# Durch Erdbeben verursachte Mikro-Entwässerungsstrukturen aus dem liassischen Hierlatz-Basiskalk und Adnet-Kalk (Nördliche Kalkalpen - Vorarlberg / Österreich)

von J. Georg Friebe

VORARLBERGER  
NATURSCHAU  
3  
SEITE 241–263  
Dornbirn 1997

## Zum Autor

Geboren 1963 in Mödling / NÖ, aufgewachsen in Rankweil. Studium der Paläontologie und Geologie an der Karl-Franzens-Universität Graz. Dissertation über die Stratigraphie und Paläogeographie der Leithakalk-Areale im Steirischen Tertiärbecken. Seit 1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Vorarlberger Naturschau.

## Abstract

Liquefaction, fluidization and sudden dewatering are generally considered characteristic features of depositional environments with high sedimentation rates. They have not yet been reported from condensed carbonate deposits. However, thin sections from the liassic Hierlatz-Basiskalk reveal microstructures which can only be explained in terms of sudden dewatering. Fluidization pipes are vertical, approximately 1 mm wide structures of various length. Their geopetal filling consists of peloids and small amounts of fine-grained biodebris. Although they have distinct lateral boundaries the contact between filling and underlying sediment is gradational. Cusp-shaped, approximately 2 mm high flames are compared to type A pillars. They are commonly situated at lithologic boundaries. At their top they can evolve into dewatering pipes. Peloid-stromatolite fabric comprises loosely packed zones of micritic peloids and small stromatolite voids which developed during liquefaction. The Hierlatz-Basiskalk was deposited on a current-swept slope within the photic zone with low sedimentation rates. Dewatering was triggered by cyclic loading during earthquakes. Preservation of initial dewatering structures was enabled by only partial liquefaction / fluidization due to small amounts of water available.



## Zusammenfassung

Sediment "verflüssigung" (Liquefaktion und Fluidisation) und die damit verbundene plötzliche Entwässerung von Ablagerungsgesteinen werden generell mit hohen Sedimentationsraten in Verbindung gebracht. Aus Kalkgesteinen mit geringen Ablagerungsraten wurden diese Erscheinungen bisher nicht beschrieben. Dünnschliffe aus dem Hierlatz-Basiskalk des kalkalpinen Lias (unterer Jura) zeigen jedoch Mikrostrukturen, die auf plötzliche Entwässerung zurückgeführt werden müssen. Entwässerungsschlote sind vertikale Strukturen von circa 1 mm Breite und unterschiedlicher Länge. Sie sind mit mikritischen Peloiden (z.B. aufgearbeitete Kalkschlammpartikel) und wenig feinem Fossil-schutt verfüllt. Die Schlote sind seitlich scharf begrenzt, zeigen aber keine markante Liegendgrenze. Zeltartige Strukturen von ca. 2 mm Größe mit

geschweiffter Spitze werden als Flammen bezeichnet. Sie befinden sich meist an lithologischen Grenzen und können gegen Hangend in Entwässerungsschlote übergehen. Peloid-Stromatactis-Gefüge besteht vorwiegend aus Mikrit-Peloiden mit stark variabler Packungsdichte sowie Poren mit flachem Boden und gezacktem Dach (= Stromatactis-Poren). Es entstand durch Gefügauflockerung im Zuge von Liquefaktion. Als Ablagerungsraum wird ein strömungsexponierter Hang innerhalb der photischen (durchlichteten) Zone mit geringen Sedimentationsraten angenommen. Die Entwässerungsvorgänge wurden durch zyklische Belastungen im Zuge von Erdbeben ausgelöst. Unvollständige Liquefaktion/Fluidisation infolge zu geringen Wasserangebots bewirkte ein "Einfrieren" der initialen Entwässerungsstrukturen.

## Einleitung

Unter den sekundären Sedimentstrukturen fällt physikalischen Deformationsstrukturen eine bedeutende Rolle zu. Sie berichten über das Geschehen kurz nach der Ablagerung vor der endgültigen Verfestigung des Sediments. Schlagartige Entwässerung verursacht charakteristische Strukturen, die Rückschlüsse auf das Sedimentationsgeschehen selbst, auf Hanginstabilitäten und seismische Erschütterungen erlauben (für Zusammenfassungen siehe LOWE, 1975; ALLEN, 1982; MILLS, 1983). In bisherigen Geländestudien wurden vorwiegend Makrostrukturen in Siliziklastika (z.B. PLAZIAT et al., 1990; MOUNT, 1993; OWEN, 1995) und selten auch in (mergeligen) Kalken (DUGUË, 1995) erfasst. Experimentelle Studien zur Entwässerung und Deformation von weichem und unkonsolidiertem Sediment stammen in erster Linie aus dem technischen Bereich und sind auf geologische Verhältnisse nur schwer übertragbar. Dazu kommen wenige Arbeiten über Gestein-Gas-Systeme in vulkanischen Ablagerungsräumen (GlutwolKentuffe). Erst in jüngster Zeit wurden Experimente mit geologisch relevanten Rahmenbedingungen zu Liquefaktion (OWEN, 1996) und Fluidisation (NICHOLS et al., 1994) durchgeführt (Begriffsdefinitionen im Kapitel "Genese"). Auch diese Versuche berücksichtigen ausschliesslich siliziklastische Systeme. In feinkörnigen, reinen Karbonaten (Kalkschlamm) sind Entwässerungsstrukturen aufgrund von Kohäsion und rascher Zementation unwahrscheinlich. Lediglich HECKEL (1972) und BECHSTÄDT (1974) führen Stromatactis-Gefüge auf unvollständige Liquefaktion zurück.

Ein wichtigster Auslösefaktor für Sedimentdeformation und Entwässerung sind Erdbeben (ALLEN, 1986; PLAZIAT et al., 1990; DUGUË, 1995). In vielen Fällen sind die dadurch entstandenen Strukturen die einzigen Anzeiger von erhöhter seismischer Aktivität. Entwässerungsstrukturen in subrezenten Sedimenten beispielsweise wurden zur Abschätzung der Häufigkeit prähistorischer Erdbeben und damit zur Bewertung des heutigen Gefahrenpotentials herangezogen (CLAGUE et al., 1992).

Im Gegensatz zu bisherigen Studien werden im folgenden Mikrostrukturen aus feinkörnigen liassischen (Rot-)Kalken beschrieben, die auf unvollständige Fluidisation und Entwässerung im Zuge von Erdbeben zurückgeführt werden können. Die Bezeichnung der Mikrofaziestypen ("Merkmalsklassen" von Kalken)

folgt - wo dies möglich - der von BÖHM (1992) für die liassischen Kalke im Raum Salzburg - Oberösterreich erstellten Terminologie. Die Grundlagen der Klassifikation von Kalkgesteinen sind im Anhang näher beschrieben.

### Regionalgeologischer Rahmen

Im Steinbruch Lorüns der Vorarlberger Zementwerk Lorüns AG ist ein durchgehendes Profil durch die Lechtaldecke der Nördlichen Kalkalpen von der Obertrias (Rhätium) bis in die Oberkreide (Cenomanium/Turonium) mit einer Schichtlücke / kondensierten Folge im Dogger aufgeschlossen (Abb. 1 und 2; BERTLE et al., 1979; FURRER in OBERHAUSER, 1986). Die Schichtfolge beginnt mit Ramoz-Member (Kalk-Mergel-Wechsellagerungen mit Korallenrasen und Megalodontenbänken) und Zirnenkopfkalk (informell, entspricht teilweise dem "Oberrhätkalk" früherer Arbeiten) der Kössen-Formation (FURRER, 1993). Es folgt eine gering mächtige Wechsellagerung von bunten, siltführenden Schiefertönen, Mergeln, Kalken und Siltsteinen, die von FURRER den Schattwald-Schichten (informell) zugerechnet und ins früheste Hettangium eingestuft wird.

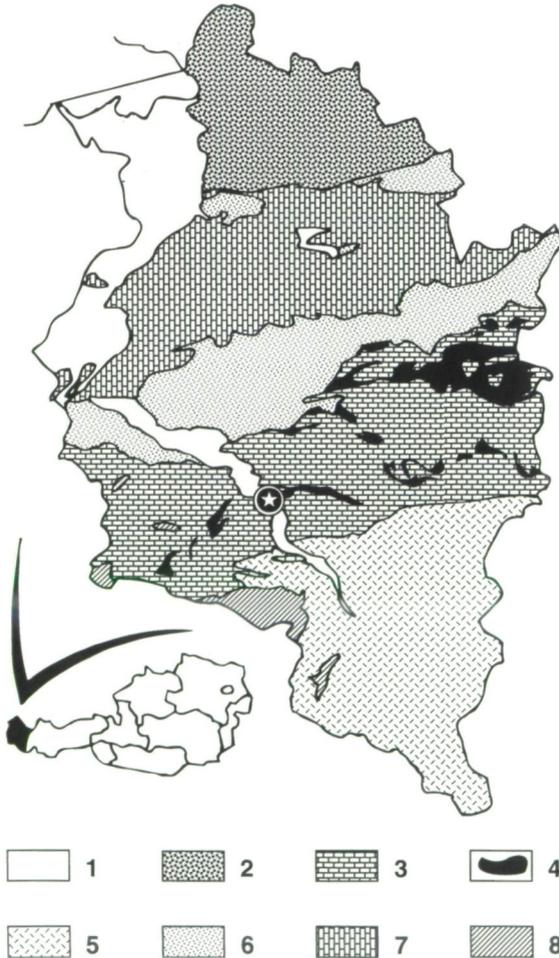
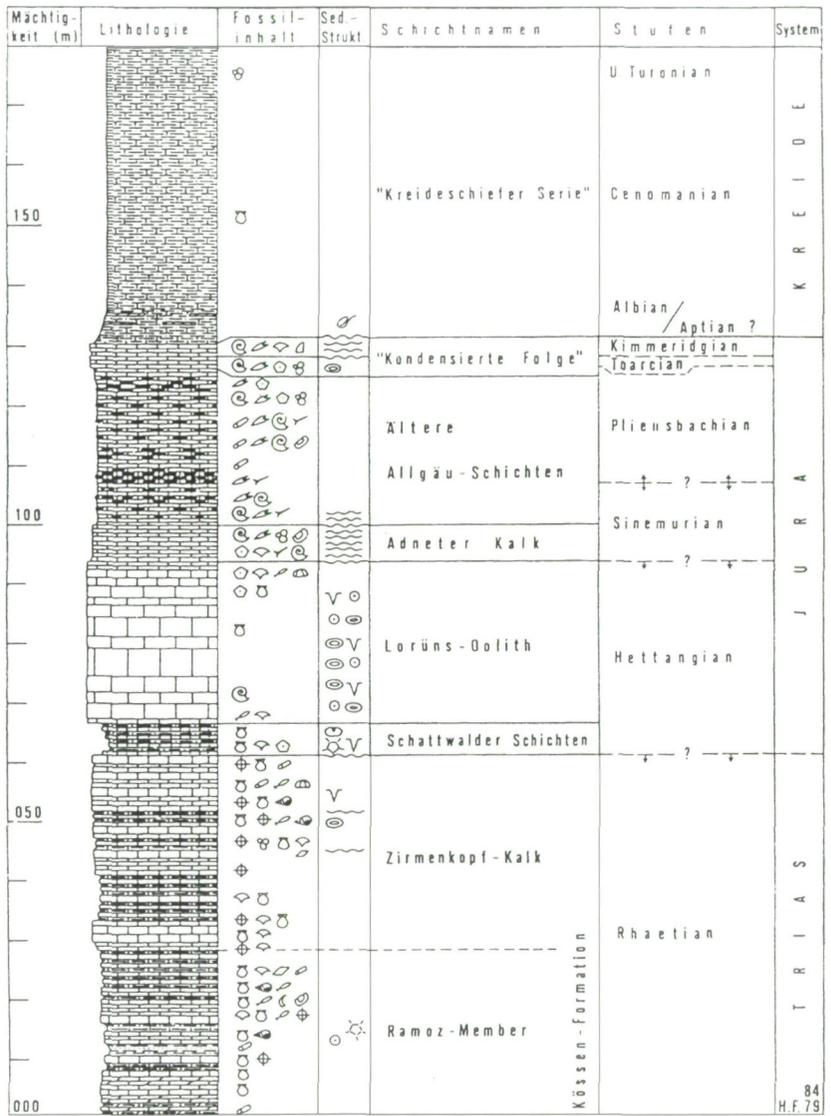


Abb. 1: Geographisch-geologische Position des Arbeitsgebietes  
1 ... Alluvionen  
2 ... Molassezone  
3 ... Kalkalpen  
4 ... Jurakalke  
5 ... Silvrettakristallin  
6 ... Flyschrone  
7 ... Helvetikum  
8 ... Penninikum

Abb. 2: Die generelle Schichtfolge im Steinbruch Lorüns; umgezeichnet nach Furrer in OBERHAUSER, 1986 und BERTLE et al., 1979



Lithologie:

[Kalk]	[Mergel]	[Silt/Sand]
[Dolomit]	[Ton]	[Hornstein]

Fossilinhalt:

[Foraminiferen]	[Schwammnadeln]	[Korallen]
[Brachiopoden]	[Muscheln]	[Schnecken]
[Ammoniten]	[Aptychen]	[Belemniten]
[Ostracoden]	[Crinoiden]	[Seeigel]
[Seeigelstacheln]	[Fischzähne]	[Ganoidschuppen]
[Lebensspuren]		

Sedimentologische Strukturen:

[Spalten]	[Trockenrisse]	[Angebohrte Gerölle]
[Knollenstruktur]	[Ooide]	[Onkoide (Stromatolithe)]

Die Kalkentwicklung setzt erneut mit dem Lorüns-Oolith ein (informell; siehe Abb. 3). Es handelt sich dabei um massigen bis schlecht gebankten Onkoid-/Ooid-Packstone und seltener Grainstone. Die ursprünglich mikritische Grundmasse ist meist zu Mikrosparit rekristallisiert. Dolomit-Kristalle sind an Drucklösungssäumen angereichert. Makrofossilien sind selten. Der Begriff "Oolith" ist insofern irreführend, als Ooide (kugelige Komponenten mit "Zwiebelschalen" um einen Kern) gegenüber Onkoiden (Algenknollen) mengenmässig weit zurücktreten und nur im obersten Teil dominieren. Dieses Schichtglied wurde in früheren Arbeiten meist als Sonderentwicklung dem "R(h)ätoliaskalk" zugeordnet (z.B. HELMCKE, 1974; DOERT & HELMCKE, 1976; UCHDORF, 1984: "Oolith", "Onkoid-Mikrit" mit *Involutina liassica* JONES). FURRER, (1993) stellt es aufgrund eines Ammonitenfundes ins Hettangium. Holothurien-Skelettelemente verweisen jedoch auf ein triadisches Alter (A. BAUER, Innsbruck; mündl. Mitt. Dez. 1996).

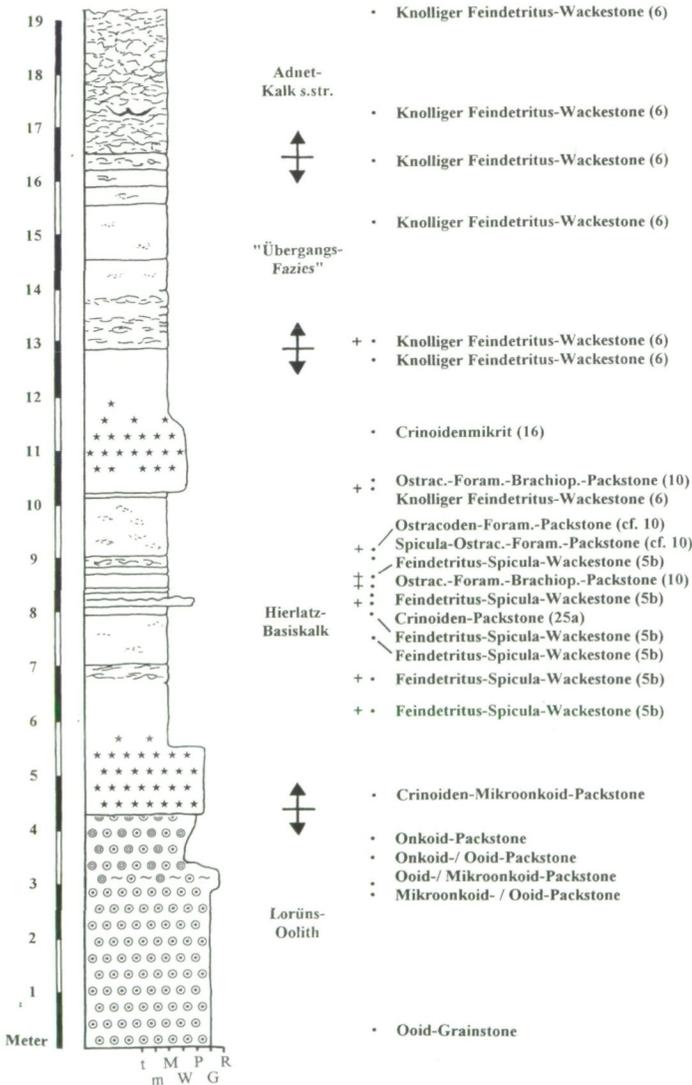


Abb. 3: Schichtfolge und Mikrofaziestypen (nach BÖHM, 1992) im Detailbereich Lorüns-Oolith → Hierlatz-Basiskalk → Übergangsfazies → Adnet-Formation s. str.

Der Lorüns-Oolith wird mit scharfer Grenze von dickbankigen, mikritischen Kalken unterschiedlicher Färbung überlagert. Drucklösungssäume sind immer vorhanden. Knollenbildung und Rotfärbung sind jedoch weitaus geringer als beim mikrofaziell ähnlichen Adnet-Kalk. Die Basis ist noch leicht von onkolithischer Sedimentation beeinflusst (Crinoiden-Mikroonkoid-Packstone/Grainstone, Zwischenstellung zwischen den Mikrofaziestypen 24: Mikroonkoid-Packstone und 16: Crinoidenmikrit). Darüber dominiert Mikrofaziestyp 5b: Feindetritus-Spicula-Wackestone. In diesen eingeschaltet sind kleindimensionale, wolkige Bereiche und dünne Lagen von Mikrofaziestyp 9: Spicula-Stromatactis-Wackestone. Einige Bänke zeigen Anreicherung von Crinoidenschutt (Seelilienschutt). Sie sind mit Mikrofaziestyp 10: Ostracoden-Foraminiferen-Brachiopoden-Packstone und seltener Mikrofaziestyp 25a: Crinoiden-Packstone vergleichbar. Gegen Hangend wird Mikrofaziestyp 6: Knolliger Feindetritus-Wackestone häufiger. Die Hangendgrenze ist schwer fassbar. Eine markante Grenze wäre das Einsetzen von intensiver Rotfärbung und ausgeprägtem Knollengefüge. Allerdings sind nach FURRER (1993) bereits die früher einsetzenden grauen, leicht knolligen Kalkbänke ohne Anreicherung von Seelilienschutt dem Adnet-Kalk zuzurechnen.

Diese Gesteinsabfolge wurde in älteren Arbeiten sehr unterschiedlich behandelt. Von FURRER (in BERTLE et al., 1979; und Abb. A25 in OBERHAUSER, 1986) wurde sie zunächst im Schichtprofil nicht extra ausgeschieden. Im Text werden "Kalke, die mit lokal angereicherten Crinoidenresten Anklänge an die Hierlatzkalk-Fazies zeigen", erwähnt. Sie "leiten zu roten oder graugrünen, knolligen Kalken über, die in ihrer lithologischen Ausbildung dem Adnet-Kalk entsprechen." (FURRER in BERTLE et al., 1979: 81). Es ist anzunehmen, dass diese Abfolge zumindest in Teilen bereits dem Adnet-Kalk zugerechnet wurde. FURRER (1993) bezeichnete diese Gesteine als Hierlatzkalk und zieht die Hangendgrenze "über den obersten bunten Echinodermenkalken, die unter knolligem Adnet-Kalk [...] auftreten.". Der Hierlatzkalk umfasst jedoch nach BÖHM (1992) ausschliesslich sparitische Mikrofaziestypen ohne nennenswerte Anteile an mikritischer Matrix. "Massige bis dickbankige, bräunlichgraue Mikrite mit Schwammnadeln und Brachiopoden" (Mikrofaziestyp 9: Spicula-Stromatactis-Wackestone) im Liegenden des Hierlatzkalkes s.str. wurden von ihm als Hierlatzbasiskalk bezeichnet (BÖHM, 1992: 63). Dieser weist jedoch keinen signifikant erhöhten Anteil an Crinoidenschutt auf. Der Name Hierlatzbasiskalk wurde von LANTSCHNER (1994) für Wacke- bis Packstones im Liegenden des Adnet-Kalkes übernommen, bei denen Crinoiden und Schwammnadeln den Hauptanteil der Mikrofossilien stellen. Makroskopisch ähnelt dieses Gestein dem "Oberrhätkalk". In älteren Arbeiten wurde es dem "R(h)ätoliaskalk" und/oder dem "Unterlias-Rotkalk" zugeordnet (z.B. HELMCKE, 1974; UCHDORF 1984: "Algen-Stromatolithe", Abb. 68). Die Bezeichnung Hierlatz-Basiskalk wird hier informell für den liegenden Anteil der oben beschriebenen Einheit übernommen. Die meisten der unten beschriebenen Mikrostrukturen stammen aus diesem ca. 9 Meter mächtigen Bereich. Als Hangendgrenze wird mit FURRER (1993) die Oberkante der hangendsten Bank mit signifikant erhöhtem Anteil an Crinoidenschutt angegeben. Die darauf folgenden Schichten bis zum Einsetzen der markanten

Rotfärbung werden informell als Übergangsfazies zwischen Hierlatz-Basiskalk und Adnet-Kalk s.str. bezeichnet (vgl. *Abb. 3*). Sie entsprechen den "Bunten Lias-Cephalopodenkalken" und dem "Grauen Liasbasiskalk" (TOLLMANN, 1976).

Der 6 bis 10 Meter mächtige Adnet-Kalk s.str. fällt durch eine intensive Rotfärbung und ein ausgeprägtes Knollengefüge auf. Ammoniten-Steinkerne sind häufig, infolge von Drucklösung zumeist aber nur schlecht erhalten. Die unebenen Schichtflächen sind mit rotem Mergel belegt. Eingeschaltet sind kleindimensionale, rinnenförmige Strukturen mit einer Dominanz von Crinoidenschutt. Zudem können die Seelilienbruchstücke auch lokal durch Drucklösung angereichert sein. FURRER (1993) stellt den Adnet-Kalk im Steinbruch Lorüns ins Sinemurium.

Die Knollenkalken gehen gegen Hangend in dünnbankige, rote bis graue Kalke der Allgäu-Formation über. Sie unterscheiden sich von den benachbarten Kalktypen durch das häufige Auftreten von Hornsteinknollen, Trübestromablagerungen und durchwühlten Lagen ("Fleckenmergel"). Ammoniten sind, im Gegensatz zum Adnet-Kalk, zumeist sehr stark geplättet. FURRER (1993) bezeichnet diese 20 bis 30 Meter mächtige Einheit informell als Bunte Allgäu-Schichten. Sie entspricht den Älteren Allgäu-Schichten *sensu* JACOBSHAGEN (1965).

Die Allgäu-Formation wird im Hangenden durch eine stark kondensierte Lage begrenzt. Der tiefere Anteil dieser bunten Kalke führt häufig Ammoniten und Nautiliden des Toarcium, die meist von bis zu 1 Zentimeter dicken Stromatolithkrusten (gebildet von Cyanobakterien) und festsitzenden Foraminiferen bewachsen sind. Die Krusten sind durch Eisen und Mangan dunkelrot, grün und schwarz verfärbt. Der Mittlere und der grösste Teil des Oberen Jura fehlt. Ein Hartgrund mit korrodierten Ammoniten des Kimmeridgium bildet den hangenden Abschluss des Kondensationshorizontes. Die aufgeschlossene Schichtfolge wird durch etwa 50 Meter "Kreideschiefer" des oberen Aptium bis unteren Turonium abgeschlossen (FURRER in BERTLE et al., 1979).

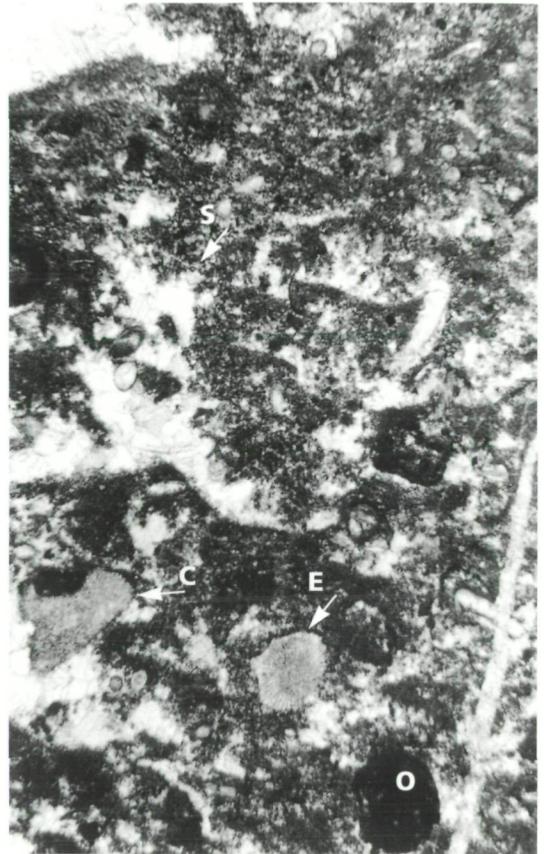
### **Mikrostrukturen**

Die im folgenden beschriebenen Mikrostrukturen finden sich bevorzugt im Hierlatz-Basiskalk und im überlagernden Übergangsbereich zum Adnet-Kalk s.str. (vgl. *Abb. 3*).

#### Peloid/Stromatactis-Gefüge

Speziell in Mikrofaziestyp 5b: Feindetritus-Spicula-Wackestone eingeschaltet finden sich stellenweise kleindimensionale, wolkige Bereiche oder dünne Lagen von Mikrit-Peloiden mit stark variabler Packungsdichte und Poren mit flachem Boden und unregelmässig gezacktem Dach (= Stromatactis; *Abb. 4* und *5*). Der Anteil an Bioklasten ("Schalenschutt": Foraminiferen, feiner Crinoiden-Schutt) ist gering. Die Peloide sind bisweilen zu Mikrosparit rekristallisiert. Blockzement füllt die Stromatactis-Hohlräume.

**Abb. 4 (l.): Peloid-Stromatactis-Gefüge: locker gepackte Mikrit-Peloide (P) und stromatactisartige Poren (S); selten Bioklasten: Schwamm-Nadeln und Fragmente von Molluskenschalen (M). Probe LO.09.H; ca. 4 x 5,5 mm**



**Abb. 5 (r.): Stromatactis-Poren (S) in Ooid-/Onkoid-Packstone. O ... Onkoid, E ... Seeigelstachel, C ... Seelilien-Bruchstück. Probe LO.03.L; ca. 5 x 7 mm**

Dünnschliff LO.15 zeigt einen kontinuierlichen Übergang vom "Normalsediment" in einen unten ca. 1,2 cm breiten Bereich mit Stromatactis-Poren, der sich gegen Hangend auf ca. 0,7 cm verjüngt. Die seitliche Begrenzung ist unregelmässig ausgefranst, aber scharf. Das Stromatactis-Gefüge wird im Hangenden mit scharfer Grenze von kongestützten Bioklasten in nur wenig Matrix überlagert. Die Breite dieser Zone entspricht an der Basis derjenigen des Stromatactis-Bereiches, nimmt jedoch gegen Hangend zu.

Diese Strukturen ähneln Mikrofaziestyp 9: Spicula-Stromatactis-Wackestone, der massige bis unscheinbar dickbankige Gesteinspartien bildet (BÖHM, 1992). Im Gegensatz dazu tritt Peloid/Stromatactis-Gefüge als Flecken oder dünne, bis maximal 2 cm mächtige Lagen innerhalb anderer Mikrofaziestypen auf.

## Flammenstrukturen

In den Dünnschliffen finden sich wiederholt zeltartige Strukturen mit geschweifelter Spitze. Sie werden hier als Flammen bezeichnet.

Dünnschliff LO.08.2 zeigt Mikrofaziestypus 5b: Feindetritus-Spicula-Wackestone überlagert von Wackestone/Mudstone aus locker gepackten, mikritischen Peloiden und stromatactisartigem Fenstergefüge mit nur geringem Biogenanteil. An der markanten Grenze nimmt der Anteil an Biogenen schlagartig ab. Direkt unter der Grenze sind die Biogene angereichert. Eine Auswaschung des Feinmaterials fand jedoch nicht statt. Die Grenze selbst zeigt mehrere Flammenstrukturen, die gegen Hangend in Schloten (siehe unten) übergehen (Abb. 6). In einem Fall ist eine grössere Flamme aus zwei kleineren zusammengesetzt. Wahrscheinlich waren die beiden kleinen Flammen, die in einen gemeinsamen Schlot münden, kurz hintereinander aktiv. Sie entwässerten weniger das unterlagernde Sediment selbst, sondern wurden aus einem tieferen Niveau gespeist.

**Abb. 6 (l.):** Flammenstruktur (F), gegen Hangend in einen Entwässerungsschlot (S) übergehend. Probe LO.08.2; ca. 4 x 5,5 mm

**Abb. 7 (r.):** Flamme mit rundlicher Auswaschungsstruktur; Probe LO.14.H; ca. 6 x 8,5 mm



In Dünnschliff LO.14.H geht die Flamme gegen Hangend in eine rundliche Struktur von ca. 4 mm Durchmesser über. Sie ist eher unscharf begrenzt (Abb. 7). Das Feinmaterial ist dort - analog dem Sediment innerhalb der Flamme - ausgewaschen. Hier entstand kein diskreter Schlot, sondern das durch die Flamme entweichende Wasser bildete einen Wirbel und wusch dadurch das Sediment aus.

Darüber erfolgte die Entwässerung in einer diffusen, wenig ausgewaschenen Zone ohne scharfe Begrenzung. Sie enthält wenige stromatactisartige Poren, die sich im Hangenden zu kleinen Schloten vereinigen. Die weitere Entwicklung ist durch Drucklösung überprägt.

#### Entwässerungsschlote

Als Entwässerungsschlote werden vertikale Strukturen von ca. 1 mm Breite und unterschiedlicher Länge interpretiert (Abb. 8). Sie sind mit mikritischen Peloiden und wenig Feinbiodetritus (mit ähnlicher Zusammensetzung wie das umgebende Sediment) meist geopetal verfüllt ("fossile Wasserwaage"). Das Internsediment (Feinbiodetritus, mikritische Peloiden, seltener bestimmbare Bioklasten) hat keine markante Liegendgrenze zum unterlagernden Sediment, sondern entwickelt sich aus diesem kontinuierlich durch Auswaschung von Feinmaterial. Die Füllungen zeigen häufig lagigen Aufbau mit Setzungen im Zentralbereich. In den Schloten finden sich selten auch Intraklasten (Bruchstücke aus dem umgebenden Material). Die hangenden Bereiche sind mit grobblockigem Sparit verfüllt. In ihm sind mitunter zu Mikrospatit rekrystallisierte Mikrit-Peloiden eingeschlossen, die als Kristallgrus fehlgedeutet werden können.

Seltener finden sich Schlote mit lediglich leichter Auswaschung des Feinmaterials. Dabei entstanden kaum Poren, in denen sich Sparit hätte bilden können. Einzelne Peloiden sind nicht erkennbar. Trotzdem sind die Schlote durch eine Farbänderung des Mikrits deutlich zu sehen. Sie zeigen eine scharfe seitliche Begrenzung.

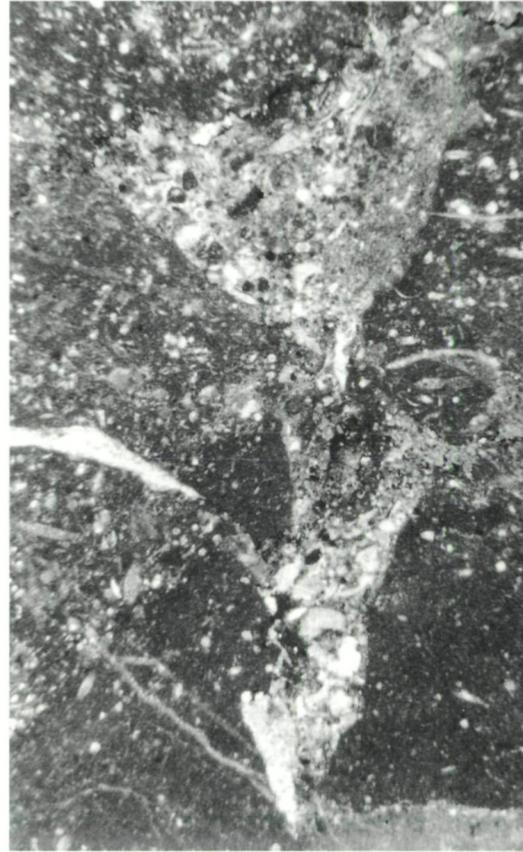
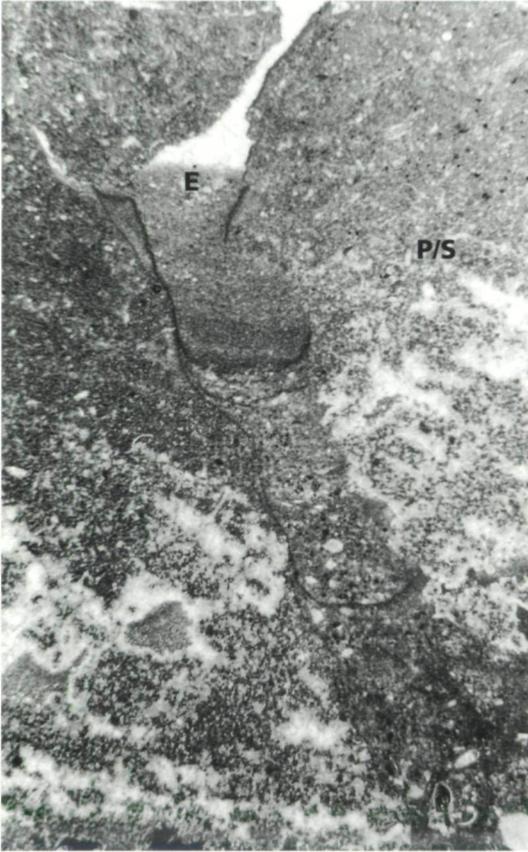
#### Diffuse Entwässerung, Übergangsformen

Die Entwässerung des Sediments ist nicht immer an schmale, scharf begrenzte Strukturen gebunden. Stellenweise führte diffuse Entwässerung zum Zerreißen des Sediments und damit zu einer Auswaschung bzw. Auflockerung des Gefüges. Dabei können sowohl breitere Zonen als auch eher eng begrenzte Bereiche (von circa 1 cm Breite) betroffen sein.

Stellenweise sind Übergänge zwischen diffuser und strukturgebundener Entwässerung zu beobachten. Dünnschliff LO.15 zeigt eine etwa 5 mm breite Zone mit Peloiden in unterschiedlicher Packungsdichte und Stromatactis-Gefüge. Sie ist einseitig relativ scharf begrenzt. Auf der anderen Seite befindet sich eine etwa 7 mm breite Übergangszone mit einer zwar deutlichen, aber doch eher unscharfen Grenze zum ungestörten "Normalsediment". Die Übergangszone zeigt im Liegenden eine starke Verbreiterung. Lateral dazu befinden sich kleinere Entwässerungszonen, die von derselben Basislage ausgehen. Die Hauptzone zeigt eine vertikale Gliederung. In den basalen 8 mm finden sich fast überhaupt keine Biogene. Im mittleren Bereich (circa 3 mm) sind die Peloiden dichter gepackt. Dazu kommen wenige Foraminiferen und Feinbiodetritus. Der Hangendbereich (circa 5 mm) besteht aus stark ausgewaschenem Packstone mit Feinbiodetritus, Foraminiferen, Ostracoden, Brachiopodenschill, Seeigelschutt und Schwammnadeln. Die Struktur ist am Top durch einen Drucklösungssaum begrenzt.

Als Übergangsform ist auch eine trichterförmige Struktur in Dünnschliff LO.09.H zu bezeichnen (Abb. 9). Sie ist scharf begrenzt. Lediglich an der Basis gibt es kleinere diffuse Flecken. Allerdings ist der Rand stellenweise durch Drucklösung überprägt. Die Hangendbegrenzung ist ebenfalls ein Drucklösungssaum. Der Trichter entwickelt sich an der Basis aus einer horizontalen Entwässerungsstruktur und steigt circa 5 mm mit einer schwankenden Breite zwischen 1 und 1,5 mm vertikal an (= Entwässerungsschlot). Die obersten 3 mm zeigen eine trichterförmige Verbreiterung auf 4 mm. Der Trichter ist mit Biodetritus unterschiedlicher Korngröße, Peloiden und mikritischen Intra-/Lithoklasten gefüllt. Das Feinmaterial ist ausgewaschen.

**Abb. 8 (l.): Entwässerungsschlot (E) mit gepetaler Füllung ("fossile Wasserwaage"), durchschlägt Peloid-Stromatactis-Gefüge (P/S); Probe LO.08.2; ca. 6 x 8,5 mm**



**Abb. 9 (r.): Trichterförmige Entwässerungsstruktur; Probe LO.09.H; ca. 6 x 8,5 mm**

#### Setzungsstrukturen

In den Hangendbereichen des Lorüns-Oolith (Ooid-Packstone) kommen grössere Hohlräume vor, die mit detritischem Material grösstenteils verfüllt sind. In Probe LO.06 ist diese Füllung laminiert und gradiert (Gradierung = Abnahme der Korngröße gegen Hangend). Die Matrix ist weitgehend ausgewaschen. Die Bioklasten sind feinkörnig und führen auffallend viel Crinoidenschutt mit syntaxialem (in gleicher kristallographischer Orientierung aufgewachsenem) Rindenzement. Daneben treten vorwiegend Peloiden und Fein(bio)detritus in sehr feinkörniger,

sparitischer Grundmasse auf. Das Sediment zeigt eine auffallende Bänderung im Millimeterbereich aufgrund unterschiedlichem Anteil an Peloiden und unterschiedlicher Packungsdichte. Einige Lagen erscheinen invers gradiert. Der Resthohlraum ist mit Sparit gefüllt. Über einer dünnen Lage von blattförmigem bis feinblockigem Zement folgen zwei Generationen von Hundezahnzement, die durch Mikrit-Einschwemmungen getrennt sind. Mikrit füllt auch den verbleibenden zentralen Resthohlraum. Aufgrund der Ähnlichkeiten zwischen detritischer Hohlraumfüllung und überlagerndem Sediment wird eine zeitgleiche Bildung angenommen.

Im Hangendbereich der detritischen Hohlraumfüllung wird die Bänderung durch eine vertikale, schmal-trichterförmige Struktur mit eher unscharfen Rändern unterbrochen. Das Sediment innerhalb dieses Trichter entspricht dem der äusseren Umgebung. Die Bänderung ist noch vorhanden, die einzelnen Laminae sind jedoch im Zentrum der Struktur nach unten durchgebogen. Diese Struktur setzt sich durch den Hundezahnzement hindurch fort und hat eine Entsprechung im Mikrit des Resthohlraumes. Der Trichter wird auf Setzungsvorgänge (möglicherweise auch in Zusammenhang mit Entwässerung) zurückgeführt.

## Diskussion

### Zeitliche Beziehungen

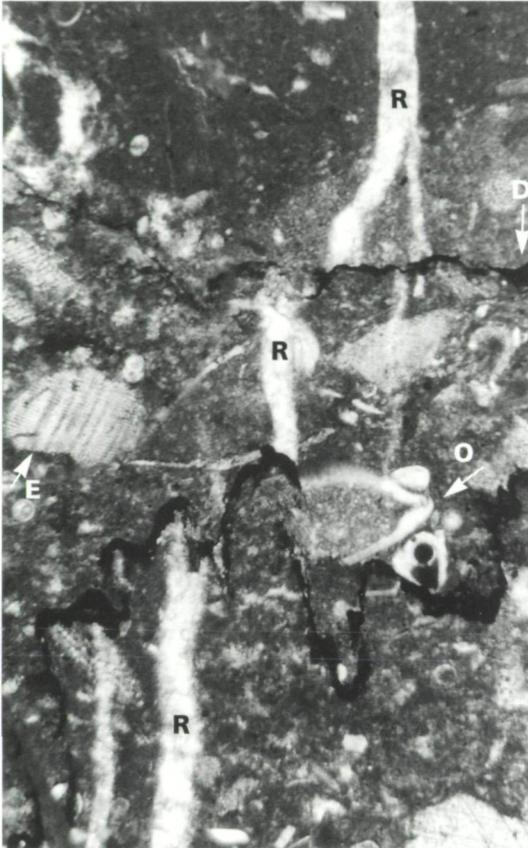
Die Bildung der mutmasslichen Entwässerungsstrukturen ist kurz nach der Ablagerung des Sediments, aber noch vor einer frühen Zementation erfolgt. Intraklasten in den Schloten sowie die durchwegs scharfen seitlichen Ränder der Entwässerungsschote sind lediglich als Zeichen von (geringer) Kohäsion zu werten. Die Mächtigkeit der hangenden Schichten war gering: grössere Mächtigkeiten verhindern plötzliche Entwässerung (NICHOLS et al., 1994).

Unterschiedliche Strukturen können einander überlagern. Peloid-Stromatactis-Gefüge sind manchmal von diskreten Schloten durchschlagen. Wenngleich letztere vorwiegend aus dem unterlagernden Sediment gespeist wurden, ist eine Entwässerung auch des Peloid-Stromatactis-Gefüges durch die Schlotte nicht völlig auszuschliessen. Eine generelle zeitliche Abfolge der einzelnen Strukturen konnte nicht festgestellt werden.

In Dünnschliff LO.08.2 teilt sich ein Entwässerungsschlot im Hangenden in zwei kleinere Teilschote. Das Sediment zwischen ihnen ist keilförmig losgebroschen und ca. 0,1 mm abgesunken. Das Sediment war vor Zementierung des Schlotes bereits teilweise verfestigt.

Dünnschliff LO.22.1 ist von feinen, verheilten Rissen durchzogen, die ihrerseits wiederum von Drucklösung betroffen sind (Abb. 10). Diese Risse lassen sich in die Schlotfüllung hinein verfolgen und sind im Bereich der rekristallisierten Peloiden gut zu erkennen. Im grobblockigen Zement sind sie jedoch kaum erkennbar. Sie folgen dort wahrscheinlich Kristallgrenzen und sind durch syntaxiales Weiterwachstum der Kristalle kaschiert. In einem Fall überdeckt ein grosser Kristall den (etwas älteren) Riss, dessen Füllung in Form von Einschlüssen reliktsch

erhalten ist. In Dünnschliff LO.17 hingegen dürften die Risse zumindest teilweise erst nach der Bildung des Blockzementes entstanden sein. Dies lässt vermuten, dass der Blockzement in seiner heutigen Form in etwa zeitgleich zum Zerbrechen des gerade erst frühdiagenetisch verfestigten Gesteins kristallisiert ist.



**Abb. 10:** Von Drucklösung (D) betroffene, scheinbar seitlich versetzte Mikrorisse (R);, Mitte: angelöster Ostracode (O), Mitte links Seeigelstachel (E); Probe LO.17; ca. 3 x 4 mm

### Genese

Die oben beschriebenen Mikrostrukturen werden auf plötzliche Entwässerung des Sediments zurückgeführt. Für die Entstehung von Entwässerungsstrukturen sind zwei Prozesse verantwortlich: Liquefaktion und Fluidisation. Beide wurden vornehmlich an Siliziklastika studiert (z.B. LOWE, 1975, 1976; ALLEN, 1982; MOUNT, 1993; NICHOLS et al., 1994; OWEN, 1995; u.v.a.m.).

Liquefaktion beinhaltet die plötzliche Reduktion des Scherwiderstandes verbunden mit einem Zusammenbruch des Gefüges und einem raschen, aber zeitlich begrenzten Anstieg des Porenwasserdruckes. Das ursprünglich korngestützte, aber nur gering konsolidierte Sediment wird kurzfristig zur wasser-gestützten Suspension. Es folgt eine rasche Konsolidierung durch Absinken der Sedimentpartikel aus der Suspension. Das so freiwerdende Wasser kann beim Entweichen überlagernde Schichten fluidisieren.

Feiner Sand hat größeres Liquefaktions-Potential als Silt bzw. gröberer Sand

und Kies. Die nachfolgende Konsolidierung wird durch erhöhten Anteil an Feinmaterial verzögert. Die wichtigsten auslösenden Faktoren sind Erdbeben, plötzliche Belastung durch Sedimentüberlagerung (inverse Dichteschichtung), zyklische Belastung durch stehende Wellen im Zuge von Stürmen und Erhöhung des Porenwasserdruckes durch artesische Wässer. Komplette Liquefaktion setzt eine zyklische Belastung von mindestens einer Minute Dauer voraus (LOWE, 1975, 1976). Unvollständige Liquefaktion wird durch nur kurzfristige Belastung sowie primäre textuelle Inhomogenitäten zwischen bzw. innerhalb der betroffenen Schichten kontrolliert (JOHNSON, 1977).

Fluidisation tritt ein, wenn durch die Zugkräfte eines aufwärts gerichteten Wasserflusses die gravitativen Kräfte im Sediment überwunden wird. Die einzelnen Sedimentkörner werden vom Wasserstrom in Schwebelage gehalten oder als Suspension mittransportiert (LOWE, 1975, 1976). Dieser Prozess ist auf groben Silt und Sand beschränkt. In feinem Silt und Ton verhindert die zu starke Kohäsion die Fluidisation, in Kies begünstigt der grosse Porenraum eine Entwässerung durch normales Sicken. Die Wasserquelle befindet sich ausserhalb der fluidisierten Schicht. Das nötige Wasser kann beispielsweise durch Liquefaktion unterlagernder Sedimentschichten mit nachfolgender Konsolidierung zur Verfügung gestellt werden. Liquefaktion mit anschliessender Fluidisation innerhalb einer Schicht ist im geschlossenen System nicht möglich (LOWE, 1976; ALLEN, 1982). Fluidisation beschränkt sich oftmals auf diskrete Zonen, während das umgebende Sediment weitgehend unbeeinflusst bleibt.

Ein "Einfrieren" der initialen Entwässerungsstrukturen ist nur bei unvollständiger (partieller) Liquefaktion/Fluidisation möglich (MOUNT, 1993). Gründe dafür sind: (a) Zu geringe mechanische Belastung: Nur kurzzeitige Einwirkung von externem, zyklischen Stress bewirkt eine unvollständige Liquefaktion und damit unvollständige Entwässerung; (b) Textuelle Inhomogenitäten zwischen bzw. innerhalb der betroffenen Schichten: ein hoher Anteil an Feinmaterial vermindert Porosität und Durchlässigkeit, was sich in differentiellem Porenwasserdruck und unvollständiger Liquefaktion ausdrückt; (c) Geringe Mächtigkeiten der entwässerten Schichten: Da wenig Wasser zur Verfügung steht, kann keine vollständige Fluidisation des Sediments erfolgen.

#### *Peloid-Stromatactis-Gefüge*

Stromatactis-Gefüge kann durch unterschiedliche Prozesse mit und ohne Beteiligung von Organismen entstehen: Verwesung von Organismen, Grabbauten, Hohlräume unter Algenmatten, Matrixlösung sowie differentielle Konsolidierung im Zuge von Entwässerung (siehe Diskussion in BECHSTÄDT, 1974). Für die in den liassischen Kalken auftretenden Stromatactis-Poren ist allein letzterer Prozess verantwortlich. Matrixlösung wurde zwar in bisherigen Studien mit eher regelmässigen Poren in Verbindung gebracht, nicht jedoch mit Stromatactis (BÖHM, 1992). Für eine etwaige Besiedelung durch sessile Weichkörperorganismen oder Algenmatten sind keine Hinweise vorhanden. Grabbauten scheiden aufgrund der unregelmässigen Form des Daches der Stromatactis-Poren aus. Auffallend ist zudem die enge Verbindung mit aufgelockertem Peloid-Gefüge und anderen Entwässerungsstrukturen.

Voraussetzung für die partielle Liquefaktion von Kalkschlamm sind primäre Inhomogenitäten im Sediment. Reiner Kalkschlamm ist locker gepackt und kann bis über 50 % Wasser enthalten. Das lockere Gefüge wird zunächst durch organische Überzüge auf den Sedimentpartikeln aufrechterhalten. Diese verhindern gleichzeitig eine kontinuierliche Entwässerung und Kompaktion. In unreinen Kalen ohne organische Überzüge erfolgen diese Prozesse weitaus schneller. Sie sind daher dichter gepackt und stärker konsolidiert. Liquefaktion betrifft in erster Linie die reinen Kalke. Neben ihrer geringen Packungsdichte trägt der Zerfall der organischen Überzüge unter Sedimentbedeckung zum Zusammenbruch des korngestützten Gefüges während mechanischer Belastung bei. Durch unvollständige Liquefaktion und inhomogene Konsolidierung entstehen die charakteristischen Stromatactis-Poren mit flacher Basis und unregelmässigem Dach. Erfolgt keine Entwässerung durch die überlagernden Schichten hindurch, so wird das neu entstandene Hohlraumgefüge durch den Porenwasserdruck gestützt (HECKEL, 1972).

Die Ähnlichkeit dieses kleindimensionalen Gefüges mit Mikrofaziestyp 9: Spicula-Stromatactis-Wackestone legt nahe, dass auch grössere Sedimentpakete als Ganzes von Liquefaktion betroffen wurden. Ein erhöhter Anteil an Spicula kann diesen Prozess begünstigt haben (vgl. DUGUË, 1995). Mikrofaziestyp 9 wäre demnach durch (partielle) Liquefaktion und Entwässerung eines anderen Mikrofaziestypus entstanden. Das Auftreten von Stromatactis kann somit nicht mehr als Indikator für Ablagerungsmilieu und Ablagerungstiefe verwendet werden.

### *Flammenstrukturen*

Als Flammen (*flames*) werden in der Regel Ton-/Silt-Schlieren bezeichnet, die zwischen abgesunkene Partien von grobkörnigerem Material hinaufragen. Sie entstehen als reine Belastungsmarken durch hydroplastisches Verhalten ("Fliesen" von wassergesättigtem, feinkörnigen Sediment) infolge inverser Dichteschichtung ohne signifikante plötzliche Entwässerung (LOWE, 1975; FÜCHTBAUER, 1988). Auslöser ist die rasche Überlagerung von feinkörnigem, wassergesättigtem Sediment durch gröberes Material. Diese mehrere Zentimeter grossen Strukturen finden sich daher bevorzugt in turbiditischen Ablagerungsräumen an der Basis grobkörniger Bänke. Sie können jedoch auch, ausgelöst durch seismische Erschütterungen, in tektonisch aktiven Gebieten vorkommen (Synrift-Sedimente; PLAZIAT et al., 1990).

Durch Fluidisation und Entwässerung entstehen ähnliche Strukturen. Sie werden dann als Pfeiler (*pillars*) oder *cusps* bezeichnet (LOWE, 1975; NICHOLS et al., 1994; OWEN, 1996). Die Flammen aus den liassischen Kalen von Lorüns sind mit solchen *type A pillars* (LOWE, 1975) vergleichbar. Sie unterscheiden sich von diesen lediglich durch ihr isoliertes, horizontgebundenes Auftreten und durch das Fehlen von ausgeprägten *dish*-Strukturen. Gegen Hangend können sie in Entwässerungsschlote übergehen. In einem Fall wurde eine Auswaschung des Sediments direkt über der Flamme durch das entweichende Wasser beobachtet.

Voraussetzung für die Entstehung von Entwässerungsflammen ist das Vorhandensein einer dünnen Schicht von geringfügig verminderter Wasserdurchlässigkeit. Diese Lage kann primär vorhanden sein (lithologische Grenzen) oder aber

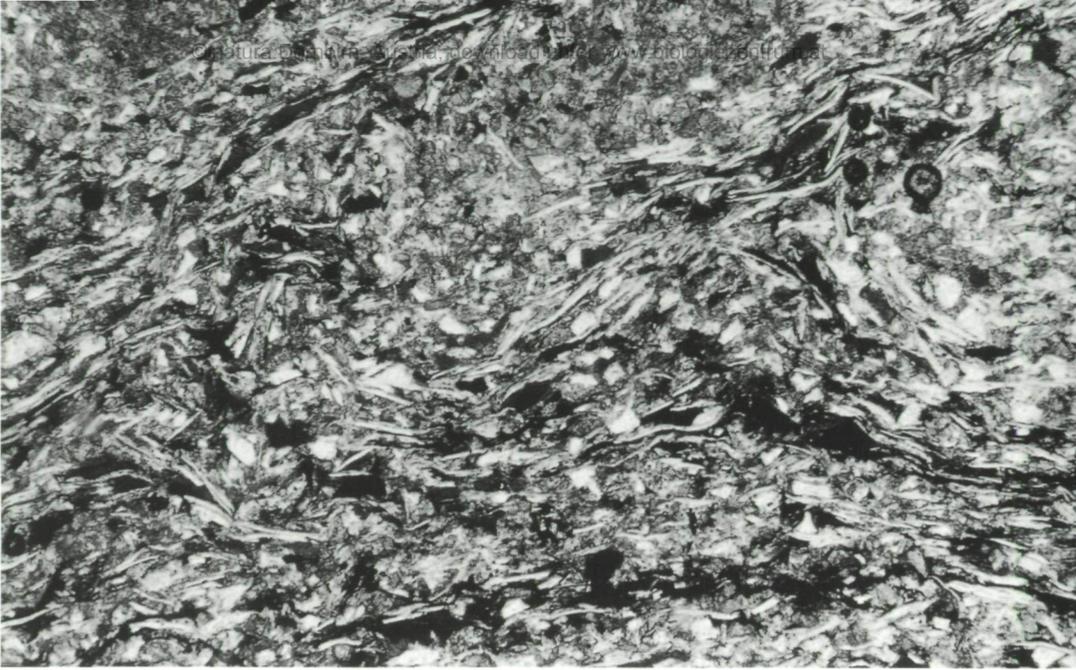
erst durch Anreicherung von ausgewaschenem Material sekundär entstehen (LOWE & LOPICCOLO, 1974). Entweichendes Wasser sammelt sich zunächst unter dieser Lage. In der Folge wird sie an Schwächestellen unter Bildung von Pfeilern / Flammen zerrissen (*burst-outs*; NICHOLS et al., 1994). Während innerhalb der Flamme noch relativ geringe Fließgeschwindigkeiten vorherrschen, wird durch die düsenartige Öffnung in ihrem Dach ein Wasserstrom erzeugt, der lokal vollständige Fluidisation und die Bildung von Entwässerungsschloten ermöglicht.

Flammen treten häufig in sehr feinkörnigem Sediment auf, wo Fluidisation aufgrund erhöhter Kohäsion und verminderter Permeabilität nicht mehr möglich sein sollte. Dies sowie die morphologischen Ähnlichkeiten zwischen Belastungsflammen (*flames*) und Entwässerungsflammen (*pillars, cusps*) legen einen kontinuierlichen Übergang zwischen hydroplastischem Verhalten und beginnender Fluidisation nahe (vgl. OWEN, 1996).

Flammen zeigen unabhängig von ihrer Grösse ein einheitliches Aussehen: zeltförmig mit geschweifter Spitze (*Abb. 11*). Kleinstflammen im Millimeterbereich, wie sie in Lorüns beobachtet werden können, sind eher selten. Mikroflammen in Feinklastika des Steirischen Tertiärbeckens (Bohrung Übersbach 1) sind lediglich an einer Einregelung von Muskovit-Plättchen zu erkennen (*Abb. 12*). Hier wirkte eine primäre, glimmerreiche Lage als Hindernis, das während des Fluidisationsereignisses unter Bildung von Flammen zerrissen wurde. Auswaschungen sind in jenem mehr gleichkörnigen Sediment nicht feststellbar.

**Abb. 11: Flammen in tonig-feinsandigen Turbiditen mit hoher Sedimentationsrate, ausgelöst durch inverse Dichteschichtung (Karpatum; Leutschach, St)**





Aber auch "Riesen" gibt es: Als Kuriosum sei eine mehr als 2 Meter hohe Flamme im Shoshonit (Basalt) von Weitendorf (Steiermark) erwähnt (Abb. 13). Hier floss ein Lavastrom über wassergesättigten Feinsand (Florianer Schichten, Badenium, Mittleres Miozän). In den Shoshonit ist ein flammenförmiger Fetzen der unterlagernden Siliziklastika eingeschlossen. Die Ränder sind gefrittet. Diese Struktur wurde in früheren Arbeiten als eine durch den Lavastrom abgescherte und von diesem teilweise umschlossene Sedimentlinse gedeutet (KRAINER, 1987). Gerade in diesem Fall scheint es ausgeschlossen, dass durch rein hydroplastisches Verhalten der zähflüssige Lavastrom zerrissen und unterlagerndes Sediment mehr als 2 Meter hoch in diesen injiziert werden konnte. An der Entstehung der Flamme war Fluidisation und Entwässerung durch Auflast (inverse Dichteschichtung) und thermischen Stress (Erhitzen des Porenwassers weit über den Siedepunkt) beteiligt.

**Abb. 12: Mikroflammen in Feinsandstein, entstanden durch Zerreißen einer Lage von Glimmerplättchen (Badenium; Übersbach, St) (2,7 x 4 mm)**

#### *Entwässerungsschlote*

In bisherigen Studien zur Mikrofazies oberostalpiner liassischer Kalke wurde neben Entwässerungserscheinungen auch Matrixlösung zur Erklärung ähnlicher Strukturen herangezogen (z.B. BÖHM, 1992: Taf. 3, Fig. 1 und Taf. 8, Fig. 6). Gegen Matrixlösung sprechen die engen Beziehungen zwischen Schlotfüllung und unterlagerndem Sediment, das Fehlen von angelösten Komponenten in der Schlotwand, sowie die grosse Ähnlichkeit der Strukturen mit makroskopischen Entwässerungserscheinungen.

Schlote (*type B pillars*; LOWE, 1975) entstehen durch lokale Entwässerung. Das dazu notwendige Wasser stammt aus einer tieferen Sedimentschicht und wird durch Liquefaktion zur Verfügung gestellt. Der Schlot wird bereits in der initialen Phase der Fluidisation als Folge von Inhomogenitäten im Sediment angelegt. Sobald dies geschehen ist, verursacht der lokal herabgesetzte Widerstand

**Abb. 13:** Über 2 Meter hohe Riesenflamme in Basalt. Lava floss über Feinsand und erhitze das Porenwasser weit über den Siedepunkt. Das Sediment wurde durch den Wasserdampf fluidisiert (Badenium; Weiten-dorf, St)



gegen einen vertikalen Wasserfluss einen hydraulischen Gradienten, der seinerseits wiederum einen seitlichen Porenwasserfluss an der Basis des Entwässerungskanals auslöst (MOUNT, 1993). Dadurch kann eine eventuell vorhandene Flamme wieder zerstört werden. Dies erklärt die bisweilen unscharfe Begrenzung des Schlotens an der Basis sowie die enge Beziehung zum unterlagernden Sediment.

#### Auslösende Faktoren

Entwässerungsstrukturen und Deformation von unkonsolidierten Ablagerungen werden generell als Hinweis auf hohe Sedimentationsraten angesehen. Ihre Bildung wird auf (a) inverse, instabile Dichteschichtung (als Folge von Trübe- und Schuttströmen), (b) zyklische Belastung durch stehende Welle im Zuge von (Wirbel-)Stürmen, und (c) Erdbeben zurückgeführt. Sie sind somit charakteristisch für

turbiditische Ablagerungsräume, sturm-beeinflusste Flachmeere, Deltas und Überschwemmungsebenen von Flüssen (LOWE, 1976; JOHNSON, 1977; ALLEN, 1982, u.a.).

Keines dieser Ablagerungsmilieus ist in Lorüns vertreten. Die in ihrer Mächtigkeit stark reduzierte Schichtfolge von Hierlatz-Basiskalk und Adnet-Formation (selten mehr als 15-20 Meter im Grossraum Lorüns) spricht für primär geringe Sedimentationsraten und/oder andauernde Sedimentverfrachtung durch submarine Strömungen (JENKINS, 1971). Aufgrund des Vorherrschens der Mikrofaziestypen 5b (Feindetritus-Spicula-Wackestone) und 6 (Knolliger Feindetritus-Wackestone) wird ein strömungsexponierter Hang innerhalb der photischen Zone als Ablagerungsraum angenommen, der zwischen dem flachmarinen Lorüns-Oolith im Liegenden und der durch Trübestrome beeinflussten Allgäu-Formation im Hangenden vermittelt. Inverse Dichteschichtungen waren als Folge der geringen Sedimentationsraten kaum vorhanden. Einschüttungen von Crinoidenschutt, die zu einer plötzlichen Belastung des unterlagernden Sediments geführt haben könnten, kamen zwar vor, sind jedoch in Mächtigkeit und Häufigkeit zu unbedeutend, um alle beobachteten Entwässerungsstrukturen zu erklären.

Der untere Jura gilt als tektonisch unruhiges Zeitalter. Die ausgedehnten Karbonatplattformen der Trias zerbrachen. Dies führte zur Absenkung von kleinräumigen, durch Abschiebungen begrenzten Teilbecken (z.B. KRAINER et al., 1994) sowie - häufiger - zum Aufreissen von mehrfach reaktivierten Dehnungsspalten. Liassische Spaltenfüllungen, die tief in die (Riff-) Sedimente des Rhätium hinabreichen, sind als Zeugen des Geschehens in den Nördlichen Kalkalpen weit verbreitet (z.B. Lorüns, Steinernes Meer im Lechquellengebiet u.a.; vlg. TOLLMANN, 1976). Diese Dehnungsprozesse waren mit seismischen Grossereignissen verbunden. Liquefaktion, Fluidisation und plötzliche Entwässerung wurden somit durch zyklische Belastungen im Zuge von Erdbeben ausgelöst.

Die geringen Mächtigkeiten der betroffenen Schichten begünstigten das "Einfrieren" der initialen Entwässerungsstrukturen. Da wenig Wasser zur Verfügung stand, wurde das Sediment nur unvollständig fluidisiert. Zusätzlich können textuelle Inhomogenitäten (lokal verminderte Porosität und Wasserdurchlässigkeit, etwa als Folge von Durchwühlung) mitgeholfen haben, eine vollständige Liquefaktion/Fluidisation zu verhindern.

## Schlussfolgerungen

Der liassische Hierlatz-Basiskalk entstammt einem Ablagerungsraum mit nur geringen Sedimentationsraten. Dennoch zeigt er sekundäre Sedimentstrukturen, die auf Entwässerung zurückgeführt werden müssen. Peloid-Stromatactis-Gefüge entstand durch Gefügebrauchung im Zuge von Liquefaktion. Es besteht vorwiegend aus Mikrit-Peloiden mit stark variabler Packungsdichte und Stromatactis-Poren. Zeltartige Strukturen mit geschweiften Spitze werden als Flammen bezeichnet und mit *type A pillars* verglichen. Sie befinden sich meist an lithologischen Grenzen und können gegen Hangend in Entwässerungsschloten übergehen. Entwässerungsflammen entstehen beim Durchbrechen des entweichenden Wassers durch eine geringfügig weniger permeable Sedimentlage. Dies

sowie ihre morphologische Ähnlichkeit zu reinen Belastungsmarken legen einen kontinuierlichen Übergang zwischen hydroplastischem Verhalten und Fluidisation nahe. Als Entwässerungsschlote werden vertikale Strukturen von ca. 1 mm Breite und unterschiedlicher Länge gedeutet. Ihre meist geopetale Füllung besteht aus mikritischen Peloiden und wenig Feinbiodetritus. Ihre laterale Begrenzung ist scharf. Die Schlote zeigen keine markante Liegendgrenze, sondern ihre Füllung entwickelt sich kontinuierlich aus dem unterlagernden Sediment.

Als Ablagerungsraum des Hierlatz-Basiskalkes wird ein strömungsexponierter Hang innerhalb der photischen Zone angenommen, der zwischen dem flachmarinen Lorüns-Oolith im Liegenden und der turbiditischen Allgäu-Formation im Hangenden vermittelt. Die Sedimentationsraten waren gering. Einschüttungen von Crinoidenschutt, die zu einer plötzlichen Belastung des unterlagernden Sediments und inverser Dichteschichtung geführt haben könnten, sind selten und stellen keine potentiellen Auslöser für Liquefaktion und Fluidisation dar. Die Entwässerungsereignisse wurden durch zyklische Belastungen im Zuge von Erdbeben ausgelöst. Erhöhte tektonische Aktivität im Lias ist durch liassische Spaltenfüllungen innerhalb triadischer Kalke belegt. Unvollständige Liquefaktion und Fluidisation infolge zu geringen Wasserangebots bewirkte ein "Einfrieren" der initialen Entwässerungsstrukturen.

## Dank

Herrn Dir. Helmut EICHBERGER und Herrn Dipl.Ing. Markus HEPBERGER (Vorarlberger Zementwerk Lorüns AG) danke ich für die Erlaubnis zum Betreten des Steinbruchareals. Die Dünnschliffe wurden von Herrn Franz TSCHERNE (Graz) angefertigt. Herr Richard JÄHNER (Lindau) gab Tips zur Anfertigung der Mikrografien.

## Literatur

- ALLEN, J.R.L. (1982): Sedimentary Structures. Their Character and Physical Basis. - Developments in Sedimentology, 30, 2 vols.: 611 & 679 p., Amsterdam (Elsevier).
- ALLEN, J.R.L. (1986): Earthquake Magnitude-Frequency, Epicentral Distance, and Soft-Sediment Deformation in Sedimentary Basins. - Sedim. Geol., 46: 67-75, Amsterdam.
- BECHSTÄDT, Th. (1974): Sind Stromatactis und radiaxial-fibröser Calcit Faziesindikatoren? - N. Jahrb. Geol. Paläont. Mh, 1974/11.; 643-663, Stuttgart.
- BERTLE, H., FURRER, H. & LOACKER, H. (1979): Geologie des Walgauer und des Montafons mit Berücksichtigung der Hydrogeologie (Exkursion G am 20. April 1979). - Jahresber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F., 61: 71-85, Stuttgart.
- BÖHM, F. (1992): Mikrofazies und Ablagerungsmilieu des Lias und Dogger der Nordöstlichen Kalkalpen. - Erlanger geol. Abh., 121: 57-217, Erlangen.
- CLAGUE, J.J., NAESGAARD, E. & SY, A. (1992): Liquefaction Features on the Fraser Delta: Evidence for Prehistoric Earthquakes? - Can. J. Earth Sci., 29: 1734-1745.
- DOERT, U. & HELMCKE, D. (1976): Geologie des Flexen-Passes (Vorarlberg/Österreich). - Geologica et Palaeontologica, 10: 181-200, Marburg a/Lahn.

- DUGUÉ, O. (1995): Séismites dans le Jurassique supérieur du Bassin anglo-parisien (Normandie, Oxfordien supérieur, Calcaire gréseux de Hennequeville). - *Sedim. Geol.*, 99: 73-93, Amsterdam.
- FÜCHTBAUER, H. (Hrsg.) (1988): *Sedimente und Sedimentgesteine* (4. Aufl.) - 1141 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- FURRER, H. (1993): *Stratigraphie und Fazies der Trias/Jura-Grenzsichten in den Oberostalpinen Decken Graubündens*. - Diss. Univ. Zürich (1981), 111 S., Zürich.
- HECKEL, P.H. (1972): Possible Inorganic Origin for Stromatactis in Calcilutite Mounds in the Tully Limestone, Devonian of New York. - *J. Sedim. Petrol.*, 42/1: 7-18, Tulsa.
- HELMCKE, D. (1974): *Geologie der südlichen Klostertaler Alpen (Vorarlberg/Österreich)*. - *Geologica et Palaeontologica*, 8: 131-147, Marburg a/Lahn.
- JACOBESHAGEN, V. (1965): Die Allgäu-Schichten (Jura-Fleckenmergel) zwischen Wettersteingebirge und Rhein. - *Jahrb. Geol. B.-A.*, 108: 1-114, Wien.
- JENKINS, H.C. (1971): The Genesis of Condensed Sequences in the Tethyan Jurassic. - *Lethaia*, 1971/4: 327-352, Oslo.
- JOHNSON, H.D. (1977): Sedimentation and Water Escape Structures in Some Late Precambrian Shallow Marine Sandstones from Finnmark, North Norway. - *Sedimentology*, 24: 389-411 Amsterdam.
- KRAINER, B. (1987): Sedimentation und Shoshonit von Weitendorf, Badenien, Steirisches Becken. - *Mitt. österr. Geol. Ges.*, 80: 143 - 156, Wien.
- KRAINER, K., MOSTLER, H. & HADITSCH, J.G. (1994): Jurassische Beckenbildung in den Nördlichen Kalkalpen bei Lofer (Salzburg) unter besonderer Berücksichtigung der Manganerz-Genese. - *Abh. Geol. B.-A.*, 50 (Festschrift E. Flügel): 257 - 293, Wien.
- LANTSCHNER, M. (1994). *Stratigraphie, Fazies und Paläogeographie des Jura westlich der Flexenpaßstraße im Grenzbereich Tirol/Vorarlberg*. - unveröff. Dipl.-Arb. Geol. Inst. Univ Wien, 121 S., Wien.
- LOWE, D.R. (1975): Water Escape Structures in Coarse Grained Sediments. - *Sedimentology*, 22: 157-204, Amsterdam.
- LOWE, D.R. (1976): Subaqueous Liquefied and Fluidized Sediment Flows and their Deposits. - *Sedimentology*, 23: 285-308, Amsterdam.
- LOWE, D.R. & LOPICCOLO, R.D. (1974): The Characteristics and Origins of Dish and Pillar Structures. - *J. Sedim. Petrol.*, 44: 484-501, Tulsa.
- MILLS, P.C. (1983): Genesis and Diagnostic Value of Soft-Sediment Deformation Structures - A Review. - *Sedim. Geol.*, 35: 83-104, Amsterdam.
- MOUNT, J.F. (1993): Formation of Fluidization Pipes during Liquefaction: Examples from the Uratanna Formation (Lower Cambrian), South Australia. - *Sedimentology*, 40/6: 1027-1037, Oxford.
- NICHOLS, R.L., SPARKS, R.S.J. & WILSON, C.J.N. (1994): Experimental Studies of the Fluidization of Layered Sediments and the Formation of Fluid Escape Structures. - *Sedimentology*, 41/2: 233-253, Oxford.
- OBERHAUSER, R. (1986): *Exkursion A. Von Dornbirn durch Rheintal und Walgau ins Montafon (Quartär, Helvetikum, Nördliche und Südliche Flyschzone, Kalkalpen, Silvrettakristallin)*. - *Österr. Geol. Ges.*, Wandertagung 1986, Exkursionsführer: 7-56, Wien (Geol. B.-A.).

OWEN, G. (1995): Soft-Sediment Deformation in Upper Proterozoic Torridonian Sandstones (Applecross Formation) at Torridon, Northwest Scotland. - J. Sedim. Res., A 65/3: 495-504, Tulsa.

OWEN, G. (1996): Experimental Soft-Sediment Deformation: Structures Formed by the Liquefaction of Unconsolidated Sands and some Ancient Examples. - Sedimentology, 43/2: 279-293, Oxford.

PLAZIAT, J.-C., PURSER, B.H. & PHILOBBOS, E. (1990): Seismic Deformation Structures (Seismites) in the Syn-Rift Sediments of the NW Red Sea (Egypt). - Bull. Soc. geol. France, 1990, (8), t. VI, n° 3: 419-434, Paris.

TOLLMANN, A. (1976): Analyse des klassischen Nordalpinen Mesozoikums. Stratigraphie, Fauna und Fazies der Nördlichen Kalkalpen. - 580 S., Wien (Deuticke).

UCHDORF, B. (1984): Das Rhät in den Vorarlberger Kalkalpen (Österreich) - Fazies und Paläogeographie. - Berliner Geowiss. Abh., (A) 56: 91 S., Berlin.

*Anschrift des Autors:*

*Dr. Georg Friebe*

*Vorarlberger Naturschau*

*Marktstrasse 33*

*A-6850 Dornbirn*

Fax: \*43 - (0)5572 - 23235 - 8

e-mail: [naturschau@stadt\\_dornbirn.vrz.net](mailto:naturschau@stadt_dornbirn.vrz.net)

## Anhang

### Zur Klassifikation von Kalkgesteinen

Kalke bestehen aus Komponenten (Schalen und Skelettelemente von Organismen, anorganische Körner, Gesteinsbruchstücke etc., meist nur im Dünnschliff bestimmbar) und Grundmasse. Letztere kann sein: (a) Mikrit = sehr feinkörniger Kalkschlamm (= Matrix) oder (b) Sparit = grössere Kalkspatkristalle, die in primären Hohlräumen zwischen den Komponenten gewachsen sind (= Zement). Der Zement wird nach dem Aussehen der Kristalle weiter klassifiziert (z.B. Blockzement, Hundezahnzement u.a.)

Die Art der Grundmasse sowie Menge, Grösse und Art der Komponenten bestimmen die wissenschaftliche Bezeichnung eines Kalkes (Mikrofazies). Es stehen mehrere Klassifikationsmöglichkeiten zur Verfügung. Eine der gebräuchlichsten ist diejenige von DUNHAM (1962):

Komponenten während der Ablagerung nicht organisch gebunden					
weniger als 10 % Komponenten mit mehr als 2 mm Durchmesser			mehr als 10 % Komponenten mit mehr als 2 mm Durchmesser		
mit Kalkschlamm (Mikrit)			ohne Kalkschlamm		
matrixgestützt		korngestützt		matrixgestützt	korngestützt
< 10 % Komponenten	> 10 % Komponenten				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone

[Riffkalke sind in dieser Tabelle nicht berücksichtigt]

Die Bezeichnung eines Mikrofaziestyps enthält zusätzlich Angaben zu den häufigsten Komponenten:

z.B. Ostracoden-Foraminiferen-Brachiopoden-Packstone = Kalk mit mehr als 10 % Komponenten in feinkörniger Grundmasse (Muschelkrebse, Kammerlinge und Armfüsser [in abnehmender Häufigkeit]), die sich gegenseitig berühren und abstützen (korngestützt), aber mit weniger als 10 % Komponenten über 2 mm Durchmesser.

#### Literatur:

DUNHAM, R.J. (1962): Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. - in: HAM, W.E. (ed.): Classification of Carbonate Rocks. Am.Ass.Petrol.Geol., Memoir 1, 108 - 121, Tulsa.

FLÜGEL, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. - 454 S., Berlin - Heidelberg - New York (Springer).

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Vorarlberger Naturschau - Forschen und Entdecken](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [3](#)

Autor(en)/Author(s): Friebe J. Georg

Artikel/Article: [Durch Erdbeben verursachte Mikro-Entwässerungsstrukturen aus dem liassischen Hierlatz-Basiskalk und Adnet-Kalk \(Nördliche Kalkalpen - Vorarlberg / Österreich\). 241-263](#)