

Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck	Band 8 Festschrift W. HEISSEL	S. 317-354	Innsbruck, Sept. 1978
-----------------------------------	-------------------------------------	------------	-----------------------

Tektonisch kontrollierter Sedimentationsablauf im Ladin und Unterkarn der westlichen Nördlichen Kalkalpen

von R. Brandner⁺⁾

Zusammenfassung

Sedimentationsumschwünge im Mittelladin und Cordevol/Jul zeigen analoge Auswirkungen synsedimentärer Bruchtektonik und damit verbundener Meeresspiegelschwankungen. Diagenetische Veränderungen der jeweiligen Wettersteinkalkplattform erfolgten in einem schizohalinen Environment.

Das Ende der jeweiligen Wettersteinkalk-Plattformentwicklung wurde nicht durch die Überlagerung mit klastischen Sedimenten herbeigeführt, sondern durch subaerische Exposition vor der folgenden Transgression. Karstreliefformen an der Oberfläche und Lösungshohlräume zeigen einen kurzfristigen Süßwassereinfluß an.

"Großoolith"-Bildungen stehen nur untergeordnet direkt mit der frühkarnischen Regression in Verbindung. Der Großteil kann bereits früher erfolgten, kurz dauernden Emersionsphasen in der Wettersteinkalklagune zugeschrieben werden. Alte Restporositäten dienten nach Zerschneiden und Auftauchen der Wettersteinkalk-Plattform neuerdings als Wanderwege von Porenwässern unterschiedlichen Chemismus.

Analog ausgebildete Hohlraumfüllungen weisen eine epigenetische Beeinflussung des Wettersteinkalks bis zu einer Tiefe von über 800 m nach. Die terrigen klastischen Internsedimente sind entsprechend ihrer mineralogischen Zusammensetzung als Aufarbeitungsprodukte variszisch subsequenter Quarzporphyre und des

⁺⁾ Anschrift des Verfassers: Dr. Rainer Brandner, Institut für Geologie und Paläontologie, Universitätsstraße 4, A-6020 Innsbruck

kristallinen Untergrunds zu deuten. Die ursprüngliche mineralogische Zusammensetzung wurde im z.T. evaporitischen Ablagerungsmilieu oft stark verändert. Die "Grünen Mergel" der Sonderfazies des oberen Wettersteinkalks werden einem ähnlichen Herkunftsgebiet zugeschrieben und sind ein Produkt dieser starken diagenetischen Veränderungen.

Eng verbunden mit den beiden analog epigenetisch beeinflussten, verschiedenzeitigen Karbonatkörpern kommen örtlich Pb-Zn-Konzentrationen vor. Ähnliche Begleiterscheinungen wie sedimentäre Bruchtektonik und das für die Karbonatdiagenese nachgewiesene zeitweilige Süßwasser-Salzwasser-Mischungsmilieu müssen daher auch bei der Erzanreicherung ausschlaggebend gewesen sein.

Der weiträumige Faziesumschlag der Raibler Schichten wurde hervorgerufen durch die Kombination von syndimentärer Bruchtektonik und eustatischen Meeresspiegelschwankungen. Diese Kombination ist nicht zufällig, sondern in engem Zusammenhang mit der obertriadischen Ozeanbodenbildung im Osten und Südosten zu sehen. Das für die Trias der Ost- und Südalpen so typische Zusammentreffen von Auftauchphasen mit folgender epipelagischer Sedimentation ist charakteristisch für die beginnende Geosynklinalentwicklung im "labilen" Schelfraum.

Abstract

There is a relationship between faulting tectonics and fluctuations of the sea level in the middle Ladinian and lower Carnian periods. Both periods have left identical imprints on sedimentary sequences. In either period, diagenetic developments of Wetterstein carbonate platforms were determined by a schizohaline environment.

The growth of those platforms was terminated by subaerial pre-transgression exposure. Superimpositions of clastic sediments are not to be held responsible. Karst topography and solution cavities indicate a short-lived influence of meteoritic water.

There is but a limited connection between "Großoolith" structures and the early Carnian regression. The majority of those structures should be attributed to earlier emersions in the Wetterstein limestone lagoon. The disintegration and emergence of the Wetterstein carbonate platforms enabled earlier remnants of porosities to serve as porewater carriers of various chemism. Cavity fillings indicate that Wetterstein limestone was subjected to epigenetic influences which reached a depth of 800 meters.

Terrigenous clastic internal sediments should be interpreted as products of erosion of Permian quartzporphyries and crystalline basement. The original mineralogical composition underwent drastic changes in an evaporitic environment. Such environment also produced the "green marls" of the upper-Wetterstein limestone, its original composition could be traced to a similar source area.

Zinc-lead concentrations, however scattered, are closely related to carbonate buildups (under similar epigenetic influence) of the middle Ladinian and lower Carnian. It seems that ore enrichment was achieved under conditions similar to the intermittent sweetwater-saltwater environment which proved to be the dominating factor in carbonate diagenesis.

The large-scale facies change which produced Raibl beds was activated by a combination of faulting tectonics and eustatic fluctuations of the sea level. The combination of those two factors was anything but accidental. It was the consequence of a parallel process - the upper Triassic sea-floor spreading in the east and southeast. The coincidence of emersion and epipelagic sedimentation - a characteristic feature of the Triassic in the Eastern and Southern Alps - should be seen as a major element in the initial stage of the geosyncline on the "labile" shelf.

Inhalt

1. Einleitung
2. Mittelladinischer Sedimentationsumschwung
 - 2.1. Diagenetische Veränderungen
 - 2.1.1. Spalten- und Hohlraumbildungen
 - 2.2. Mittelladinische Bruchtektonik
3. Die frühkarnische Regression
 - 3.1. Spalten- und Hohlraumbildung, synsedimentäre Bruchtektonik
 - 3.2. Zur Entstehung der "Großoolithe"
 - 3.3. Internsedimente
 - 3.4. Diagenetische Veränderungen
 - 3.4.1. Feldspatneubildung
 - 3.4.2. Pyritisierung
 - 3.4.3. Dolomitisierung
 - 3.5. Zusammenfassung und Diskussion der Ereignisse an der Grenze Wettersteinkalk-Raibler Schichten
 - 3.5.1. Zur "Sonderfazies" und der Herkunft der "grünen Mergel"
 - 3.6. Zyklische Ablagerung und sedimentäre Tektonik
4. Schlußbetrachtung
- Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Anzeichen synsedimentärer Tektonik sind vor allem aus den Südalpen und südöstlichen Bereichen der mediterranen Trias bekannt. Die augenfällige Faziesheteropie und der mitteltriadische Vulkanismus sind untrügliche Beweise für die starke Mobilität des Untergrundes. In jüngsten Bearbeitungen machen BOSELLINI & ROSSI, 1974, u. a. dafür phasenhaft auftretende tektonische Aktivität in Verbindung mit unterschiedlicher Subsidenz verantwortlich. Entsprechend der stratigraphischen Neubearbeitung muß das klassische Modell der Faziesheteropie in den Südtiroler Dolomiten korrigiert werden: ein Großteil der Wengener Schichten ist nicht gleichzeitig mit den Schlerndolomitriffen abgelagert worden. Ähnliche Faziesumschwünge wie in den Südalpen konnten auch im benachbarten Drauzug festgestellt werden (BECHSTÄDT et al., 1976), das ursprüngliche Nahverhältnis zu den Südalpen wird dadurch unterstrichen. Generell analoge Faziesabläufe ließen auch in den Nördlichen Kalkalpen einen Einfluß synsedimentärer Tektonik vermuten (BECHSTÄDT et al., 1978). SCHLAGER & SCHÖLLNBERGER, 1974, führen für diese Faziesumschwünge den Begriff "Stratigraphische Wenden" ein und vermuten als Ursache eine Änderung sedimentologischer Faktoren im Zuge der säkulären Absenkung des kalkalpinen Sedimentationsraumes.

Auffallend war immer schon, daß gerade die sehr intensiven mitteltriadischen Bewegungen der Südalpen (labinische Phase TOLLMANNs, 1966) sich in den Nördlichen Kalkalpen kaum oder überhaupt nicht äußern. Die genaue Untersuchung der Plattformränder des Wettersteinkalkes hat aber nun gezeigt, daß sich diese tektonische Phase auch in den Nördlichen Kalkalpen auswirken kann.

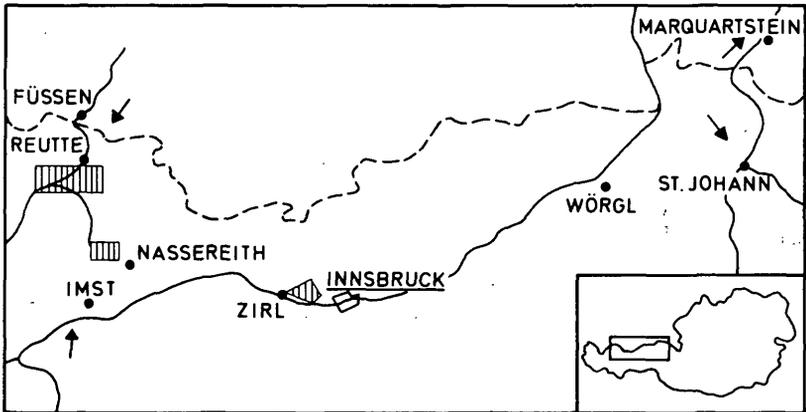


Abb. 1: Übersichtsskizze zur Lage der untersuchten Bereiche

Die weiträumige charakteristische Umstellung der Sedimentation mit den Raibler Schichten wurde schon von LEUCHS, 1948, in einen größeren Rahmen gestellt. Verstellungen durch die junglabrinische Phase wurden jedoch später wieder von ANGERMEIER et al. (1963) u.a. in Frage gestellt. Gerade auch über den Mechanismus dieser Umstellung ist man sich heute noch mehr oder weniger im unklaren.

In den folgenden Ausführungen soll nun versucht werden, durch Detailuntersuchungen mehr über die Art und die sedimentologischen und diagenetischen Begleiterscheinungen der "stratigraphischen Wenden" in der Mittel- und Obertrias zu erfahren, um so den Mechanismus dieser Umstellungen besser durchleuchten zu können. Das bessere Verstehen der Umstellungsmechanismen kann auch für genetische Deutungen der offensichtlich an diese Phasen gebundenen sulfidischen Erzlagerstätten von Bedeutung sein.

2. Mittelladinischer Sedimentationsumschwung

Mit dem oberen Anis tritt eine verstärkte Faziesdifferenzierung zwischen Beckensedimenten und Flachwasserkarbonaten auf. Örtlich unterschiedliche Subsidenzerscheinungen verschärfen diese Faziesgegensätze auf engem Raum (BECHSTÄDT & MOSTLER, 1976). So treten bereits im unteren Ladin drei verschiedene Fazies nebeneinander auf: die Riffazies des Wettersteinkalkes, die Tiefschwellenfazies der Reiflinger Schichten und die tonig-mergelige Beckenfazies der Partnachsichten. Allerdings ist zu dieser Zeit die Riffazies des Wettersteinkalkes im Vergleich zur Beckenfazies in räumlich nur beschränktem Maß vorhanden und daher selten zugänglich.

Eine dieser wenigen Stellen ist im Bereich der Inntaldeckenbasis westlich von Nassereith, Bergbaurevier St. Veit, gegeben. Eine exakte Profilaufnahme am Osthang des Bergbaureviers (Elendkar) wurde allerdings durch die starke tektonische Beanspruchung etwas erschwert. Der Profilbeginn liegt in tektonisch verschuppten Allgäuschichten der Lechtaldecke.

Abb. 2: Säulenprofil des Wettersteinkalkes "I", östlich der Lagerstätte St. Veit.

1) Grobbankige Abfolge von Riffschuttkalken, z.T. vermischt mit Filamentmikriten; 2) vorwiegend massige Riffkalke; 3) unregelmäßige Oberfläche des Wettersteinkalkes I mit Spaltenfüllungen; 4) Partnachsichten (unteres Langobard). Fotos: 1) Hohlraumfüllungen mit rhythmisch angelagerten Erzpartikeln im Wettersteinkalk; 2) Detail aus 1), Dünnschliff, Balken = 5 mm; 3) Riffkalk mit aufgelösten Korallenpolyparen und Hohlraumfüllungen mit mergeligem Beckensediment, Anschliff, Balken 5 mm; 4) Detail aus 3), Dünnschliff, (a) mergeliges Beckensediment, Balken = 5 mm.

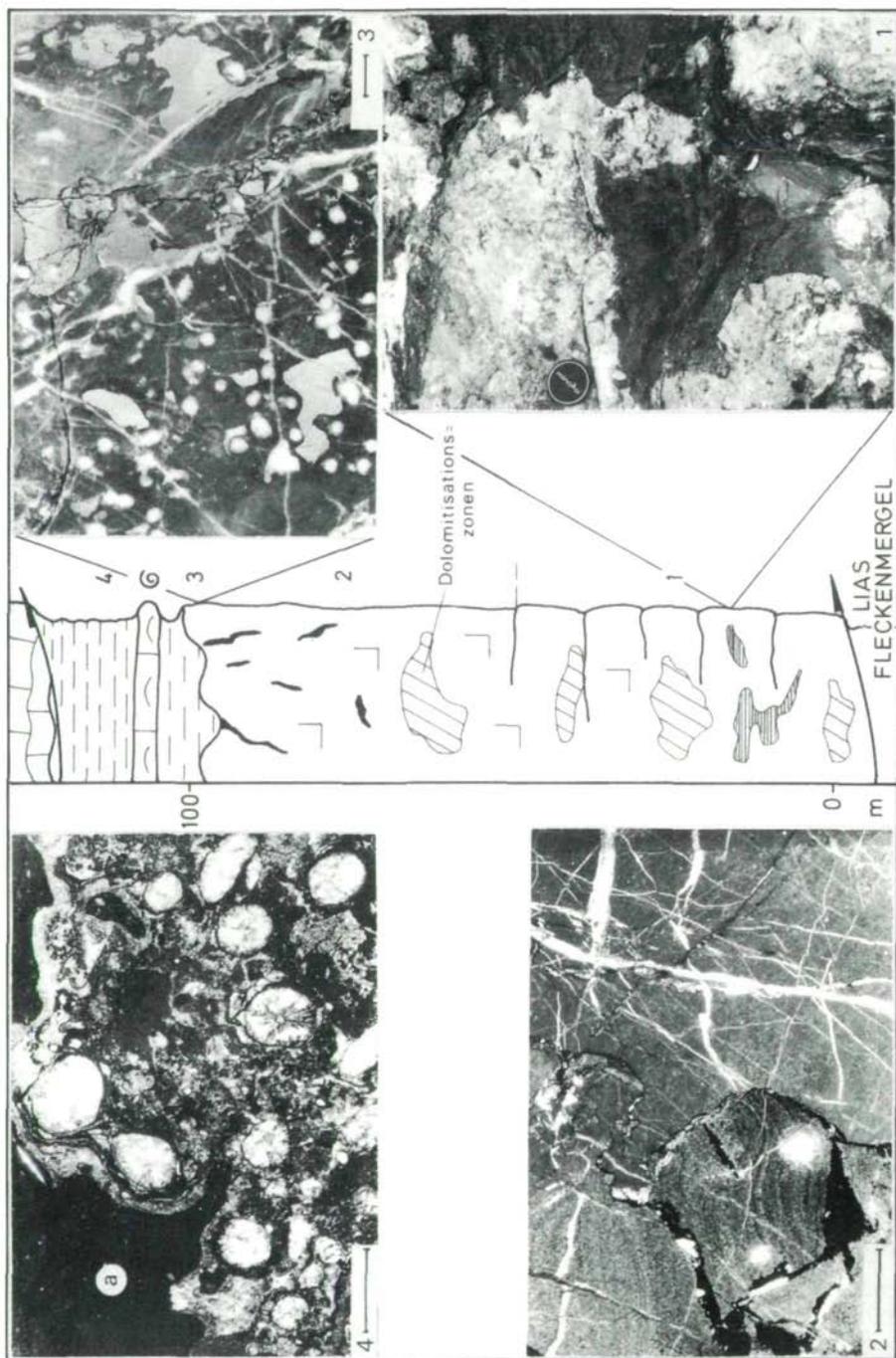


Abb. 2

Der Hauptteil des Profils wird von Gesteinen aufgebaut, die von den bisherigen Bearbeitern (AMPFERER, 1924; CLAR, 1929; WETZENSTEIN, 1972) dem "Alpinen Muschelkalk" zugerechnet wurden. Es handelt sich dabei um grobgebankte bis massige helle Kalke, die sich jedoch nach eingehender Dünnschliffuntersuchung vorwiegend aus Riffschutt- und Riffkalken und untergeordnet auch Pelmikriten zusammensetzen. Vor allem in den hangenden Partien können in situ auftretende Korallenstöcke und andere Rifforganismen beobachtet werden. Die hier von WETZENSTEIN, 1972, als typisch für Muschelkalk beschriebenen Knollenkalke konnten nicht beobachtet werden.

Die karbonatische Abfolge wird von Partnachsichten überlagert, die mit ihrem Fossilinhalt (vor allem Roveacriniden)⁺ auf ein mittelladinisches Alter hindeuten. Somit ist die am Ostende des Lagerstättenbereiches ca. 100 m mächtige karbonatische Abfolge einem basalen Wettersteinkalkriffschutt bis Riffkalk zuzuordnen, der im folgenden kurz als Wettersteinkalk "I" bezeichnet wird.

Es ist damit in den Nördlichen Kalkalpen der seltene Fall gegeben, daß Partnachsichten Wettersteinkalk überlagern und nicht unterlagern, wie es bisher immer gefordert wurde. Der primäre sedimentäre Kontakt zu den Partnachsichten ist durch Plombierung von Spalten- und Hohlraumssystemen am Top des Wettersteinkalks I nachgewiesen. Eine Korrektur des seit SCHNEIDER, 1964, nahezu unverändert gebliebenen Wettersteinkalkriffmodells wird dadurch notwendig.

2.1. Diagenetische Veränderungen

Ein Großteil des Karbonatkomplexes wurde im Zuge der Vererzung stark verändert und damit eine stratigraphische Zuordnung erschwert. Zahlreiche diskordant zur primären Schichtung verlaufende epigenetische Dolomitisationszonen durchsetzen das Gestein. Diese gelblichbraun verwitternden, fein- bis mittelkristallinen "Spatzonen" (CLAR, 1929) stehen in engstem Zusammenhang mit den Vererzungszonen und treten hofartig um diese auf.

Ähnlich den Dolomitspatzonen sind auch authigene Quarze im gesamten karbonatischen Bereich verteilt und häufen sich ebenso um die Vererzungszonen. Quarzkollektive zeigen unterschiedliche B/L-Indices und sind zwei Generationen zuzuordnen. Spezielle Untersuchungen könnten hier nach W. SCHNEIDER, 1977, Aussagen über die Bildungstemperaturen der Quarze bzw. über die damit in engster Verbindung stehenden Pb-Zn-Lagerstätten zulassen. Generell kann mit SIEVER, 1962; GRIMM, 1964, u.a. jedoch angenommen werden, daß steigender Salzgehalt in den Porenwässern der Löslichkeit von Quarz entgegenwirkt und jene von Karbonat zunimmt. Dies würde mit dem Zusammenvorkommen der Dolomitisationszonen und ebenso neomorphen authigenen Quarzen in Widerspruch stehen, so daß ein wechselnder, "schizohaliner" Chemismus

⁺) Für die freundliche Bestimmung danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. H. Mostler und Herrn Dr. D.A. Donofrio, Innsbruck.

(FOLK & LAND, 1975) der Porenwässer angenommen werden müßte. Ein zeitweiliger Frischwassereinfluß ist entsprechend der paläogeographischen Situation, wie wir unten sehen werden, durchaus anzunehmen.

2.1.1. Spalten- und Hohlraumbildungen

Die Zirkulation der Porenwässer und das Vordringen meteorischer Wässer wurde erleichtert durch ein weitverzweigtes Spalten- und Hohlraumssystem im Wettersteinkalk I. Insbesondere der hangende Bereich ist durch ein dichtes Netz von Spaltenbildungen nahezu in einzelne Riffblöcke aufgelöst. Gelblichgrün verwitternde pyritreiche Mergel und Tone, z.T. sehr biogenreich, treten als Internsedimente auf. Sie plombieren den primären sedimentären Kontakt zu den hangenden Partnachschichten. Authigene Quarze kommen lediglich im karbonatischen Nebengestein vor und nicht in den mergeligen Internsedimenten, womit der Bildungszeitraum der Quarze auf die Zeit vor der Überlagerung mit den Partnachschichten eingeschränkt wird.

Die Hangendgrenze des Wettersteinkalkes I ist keineswegs eine ebene Schichtfläche, sondern wird durch ein unregelmäßiges Relief gebildet, isolierte Riffkalkbrocken finden sich sogar noch in den basalen Partnachmergeln eingebettet.

Zum Großteil völlig aufgelöste Korallenpolypare als auch andere Riffossilien (Abb. 2), vadose Zementtypen wie drusiger Mosaik-Kalzitcement und mikrokristallitischer Hohlraumzement zeigen eine Emersionsphase an, die nur mit dem frühen Zerbrechen der Wettersteinkalkplattform in Zusammenhang stehen kann. Auch in tieferen Bereichen der Abfolge konnten bis m-große taschenförmige Hohlräume, deren Wandungen durch Lösungseinwirkungen verändert wurden (Abb. 2), nachgewiesen werden.

Feinschichtig angelagerte, feinsandig bis siltige Erzpartikel (vorw. Zinkblende), Dolomit- und Quarzkörnchen bilden in diesen Hohlräumen rhythmische Abfolgen. Im Randbereich der Hohlraumwandungen sind mit hereingebrochenen cm-großen Nebengesteinsbrocken Übergänge zu Internsedimentbreccien gegeben. Durch spätere Umbildungen treten derartige primäre Anlagerungsgefüge im Lagerstättenbereich selbst stark zurück.

Interessanterweise erwiesen sich die intern angelagerten Quarzkörnchen als umgelagerte authigene Quarze, die mit jenen des Nebengesteins ident sind. Die in gleicher Weise umgelagerten Zinkblendepartikel lassen den Schluß zu, daß die Mineralisation etwas früher schon andernorts erfolgt sein mußte.

Die epigenetische Hohlraumbildung dürfte wohl mit jener des hangenden Bereichs trotz unterschiedlicher Internsedimentation in Verbindung gebracht werden, da ja auch die Sedimentation der Erzrhythmite völlig konkordant zu Anlagerungsgefügen des Nebengesteins erfolgte.

WETZENSTEIN, 1972: 297, führt diese Erzrhythmite als Beweise für eine syngenetische Vererzung an und bringt damit eine submarine Thermentätigkeit der aniso-ladinischen Geosynklinale in Zusammenhang. Die Untersuchungen haben aber gezeigt, daß mit marinem Sediment gefüllte Spalten und Gänge keineswegs auch submarin

gebildet wurden. Die verschiedenen vadosen Zementtypen dokumentieren, daß die Hohlraumbildung neben der sedimentären Tektonik auch auf eine Emersionsphase zurückzuführen ist.

2.2. Mittelladinische Bruchtektonik

Als Ursache für das Aufreißen von Spalten muß im mittleren Ladin ein sedimentäres Zerbrechen der bereits verfestigten Karbonatplattform des Wettersteinkalkes I angenommen werden. Die Ausdehnung dieser frühladinischen Plattform ist durch die tektonische Isolierung an der Basis der Inntaldeckenüberschiebung nicht bekannt. Es weisen jedoch verschiedene Erscheinungen in zeitgleichen Beckenformationen auf eine größere räumliche Verbreitung dieser distraktiven tektonischen Phase in den westlichen Nördlichen Kalkalpen hin.

Die plötzlich wirksam werdenden Bodenunruhen haben zweierlei zur Folge:

- a) Herausheben und Zerbrechen von Teilbereichen einer bereits früh gebildeten Wettersteinkalkplattform. Mit der Emersion verbunden sind Erscheinungen des vadosen Diagenesebereichs, Lösungserweiterung von Spalten und Klüften, als auch möglicherweise eine Erhöhung der Salinität der Porenwässer durch Eindunstung an der Oberfläche.
- b) Nachfolgende, lokal rasche Subsidenz und damit Transgression der Beckensedimente der Partnachsichten auf der "ertrunkenen" Karbonatplattform. Noch verbliebene offene Hohlräume werden mit pelagischem Beckensediment verfüllt. Lediglich an der Basis der Partnachsichten finden sich noch untergeordnet Schüttungen von einem Riffbereich.

Dies bedeutet, daß mit der Transgression der Partnachsichten auch ein rasches Zurückweichen der frühen Wettersteinkalkriffe im gesamten Raum erfolgte. Randbereiche der Plattform sind infolge der raschen Subsidenz "ertrunken", ein Riffwachstum war in weiten Bereichen nicht mehr möglich und damit setzen auch die anzunehmenden Schüttungen in das Becken aus. Es kann damit auch teilweise das nur schwer verständliche Phänomen des Nichtvorhandenseins von Flachwasserschüttungen in das zur Karbonatplattform benachbarte Partnachbecken geklärt werden. Zudem ist in Analogie zu den Südalpen eventuell anzunehmen, daß die Sedimentation auf der Plattform und im Becken nicht immer synchron erfolgen muß. Sicher setzte sich in noch verbliebenen Hochzonen in mehr zentralen Bereichen der Aufbau der Wettersteinkalkplattform weiter fort, um schließlich die Beckenentwicklung wieder zu überholen.

Über weite Bereiche der ladinischen Beckenformationen der westlichen Nördlichen Kalkalpen sind Änderungen der normalen Beckensedimentation festzustellen, die genetisch mit der im Heiterwandgebirge nachgewiesenen tektonischen Phase in Zusammenhang zu bringen sind.

Von GANSS, 1975, werden westlich und östlich von Erpfendorf (bei St. Johann i.T.) isolierte Wettersteinkalkvorkommen in Partnachgebirgen beschrieben und als kleine Riffstotzen im Randbereich

des Wettersteinkalkkriffes des Wilden Kaisers gedeutet. Neuere Aufnahmen haben nun gezeigt, daß es sich dabei um mehrere 1000 m³ große Megabreccien handelt. Gegeneinander verstellte Geopetalgefüge (Abb. 3) erinnern an Cipitkalke der Südtiroler Dolomiten.

Wohl stratigraphisch etwas jünger sind ähnliche Erscheinungen in den Partnachschiechten der Pfriemeswand in der Kalkkögelgruppe. Auch hier können, allerdings bereits schwach metamorph, Rutschblöcke aus Riffgestein und eindrucksvolle subaquatische Rutschungen im m-Bereich beobachtet werden. Eine charakteristische Einschaltung, die hier und auch in einem zeitlich besser vergleichbaren Partnachschiechtenprofil am Imsterberg (SW' Imst)[†] vorkommt, sind ca. 1 m mächtige Kalkbänke, die einen breccienartigen Habitus aufweisen. Unterschiedlich große, biogenreiche, mikritische Komponenten "schwimmen" in einer mergeligen Matrix. Die Oberseite der Bänke ist zuweilen durch Pyritanreicherungen gekennzeichnet. Auch diese "Schlambreccienbänke" sind eine Folge unterschiedlicher Subsidenz in den Partnachbecken.

Schließlich sind auch Sackungserscheinungen im Untergrund hierherzurechnen, wie sie von BECHSTÄDT, 1974, in Reifflinger Bankkalken vom Raum Zirl und Silz als Stromatactis-Strukturen beschrieben wurden. Gleich wie die Großoolithe des Wettersteinkalkes sind auch diese Hohlräume mit radiaxialem fibrösem Kalzit randlich ausgekleidet. Die etwas tonreicheren Reifflinger Knollenkalke reagierten mit Schichtzergleitungen auf die örtlich unterschiedlich starke Subsidenz und dürften teilweise so auch ihre knollige Ausbildung erhalten haben.

3. Die frühkarnische Regression

Wie schon in der Einleitung erwähnt, ist die sogenannte "frühkarnische Regression" (früher: "präkarnische") nichts Neues. Schon früh wurden typische Paläokarstformen an der Oberfläche der trockengelegten Wettersteinkalkplattform beschrieben (LEUCHS & MOSEBACH, 1936, u.a.). Andererseits haben andere Bearbeiter an der Grenze Wettersteinkalk-Raibler Schichten keine Diskordanzen finden können und befürworten einen normalen stratigraphischen Übergang (ANGERMEIER et al., 1953, u.a.). Wie die folgenden Untersuchungen zeigen, ist beides möglich. Es kommt lediglich auf die paläogeographische Position und auf das örtliche Einsetzen sedimentärer Bruchtektonik in der jeweiligen Wettersteinkalkplattform an. Neu ist, daß die frühkarnische Regressionsphase auch Auswirkungen auf tiefere Bereiche im Wettersteinkalk haben kann und hier größere diagenetische Veränderungen hervorrufen kann.

Die Aufnahmen wurden bewußt außerhalb der Blei-Zinklagerstättenbereiche unternommen, um völlig unbeeinflußt von den verschiedenen Theorien zur Lagerstättenbildung die paläogeographischen

[†]) s.a. Dissertation von Herrn P. NIEDERBACHER

Veränderungen an der so markanten Grenze Wettersteinkalk-Raibler Schichten studieren zu können. Hier sind es insbesondere zwei Bereiche (siehe Lageskizze, Abb. 1), vorwiegend am Rand der ehemaligen Wettersteinkalkplattformen, die in leicht zugänglichen Steinbrüchen und Straßenaufschlüssen aufgenommen wurden:

- a) Der Wettersteinkalk der Martinswand mit Vorriffkalk und Wettersteindolomit im Hangenden und Grenze zu den Raibler Schichten am Zirler Kalvarienberg. Die tiefsten Spuren der frühkarnischen Regression sind im Zirler Steinbruch westlich der Martinswand im Vorriffkalk, ca. 800 m unterhalb der Raibler Basis zu finden.
- b) Der Wettersteinkalkzug südlich von Reutte (Gaichtpaß-Schloßberg-Gschwendtkopf). Von der Basis der Partnachschiechten (Ehrenburger Klause) bis zur Obergrenze (schön aufgeschlossen an der alten und neuen Gaichtpaßstraße) ist diese Folge geprägt durch Veränderungen der frühkarnischen Regression. Zusätzlich wurden Vergleichsbegehungen in bereits von anderer Seite untersuchten Vorkommen unternommen, die am Kalkalpennordrand im Raum Füssen und in den Chiemgauer Alpen liegen.

3.1. Spalten- und Hohlraumbildung, sedimentäre Bruchtektonik

Ein System von Spalten und Hohlräumen durchsetzt völlig unabhängig von primären Faziesunterschieden in Vorriffbreccie oder Lagunenfazies den Wettersteinkalk bis zu einer Tiefe von 800 m (Martinswand). Die undurchlässigen Partnachschiechten an der Basis in der Ehrenburger Klause kontrollieren offensichtlich das Paläogewässernetz. Auch heute treten dort aus dem frühkarnisch angelegten Hohlraumssystem Quellen aus.

Insbesondere im hangenden Bereich herrschen lösungserweiterte Spaltensysteme vor, die einerseits mehr oder weniger lotrecht zu den Schichtflächen der Lagunenfazies, andererseits auch schichtparallel oder schräg verlaufen (Abb. 4, 5, 6). Nach Rotation der Schichtflächen in die Ausgangslage (eventuelle Verdrehungen blieben unberücksichtigt) ergibt sich für den Raum Zirl ein sich kreuzendes Spaltensystem mit einer vorherrschenden N/S-Richtung. Diese Richtungen scheinen völlig unabhängig zum angenommenen Plattformrand zu verlaufen, eine Nachzeichnung des Randes im Inneren der Plattform durch dieses Paläobruchsystem konnte nicht festgestellt werden.

Die Grenze zu den Raibler Schichten ist in diesen durch synsedimentäre Spaltentektonik beeinflussten Bereichen unterschiedlich ausgebildet. Der erste Raibler Tonschiefer folgt mit scharfer Grenze, ohne ein vermittelndes Schichtglied auf die verkarstete Oberfläche des Wettersteinkalkes. An der Auffahrt zum Gaichtpaß konnte an dieser Grenze eine Winkeldiskordanz von ca. 30° festgestellt werden (Abb. 8). Raibler Schichten überlagern halbsteilgestellten Oberen Wettersteinkalk primär sedimentär: Lösungshohlräume zeichnen im Untergrund die erodierte Oberfläche des Wettersteinkalkes nach (Abb. 9). Ebenfalls in diesem Bereich (alte Gaichtpaßstraße) sind an der Raibler Schichtengrenze mehrere m große, taschenförmige Lösungshohlräume im Wettersteinkalk mit Brauneisenkrusten und Schieferton verfüllt (Abb. 10).

Fototafel 1

Abb. 3:

Dünnschliffbild aus einem in das Partnachbecken eingeglittenen Wettersteinkalkblock. Gegeneinander verstellte Geopetalgefüge. Hinterberg bei Kirchdorf i.T. Balken = 3 mm.

Abb. 4:

Lösungserweitertes, sich kreuzendes Spaltensystem im oberen Wettersteinkalk an der Zirler Auffahrt.

Abb. 5:

Lösungserweiterte Spalten Hohlräume sind verfüllt mit tonigen Dolospariten und Wettersteinkalkinternbreccien. Oberer Wettersteinkalk an der Zirler Auffahrt.

Fototafel 2

Abb. 6: Spalten und Hohlräume im mittleren Wettersteinkalk der Ehrenburger Klause S Reutte. Sandiger Dolosparit als Internsediment.

Abb. 7: Ausschnitt aus der Abb. 6. Lösungshohlräume oder Großoolithe wurden nach wandständigen dolomitischen und kalzitischen Faserzementlagen geopetal mit sandigem Dolosparit verfüllt. Der restliche Porenraum ist offen geblieben. Die frühkarnische Dolomitierungsphase greift vom Hohlräumensystem ausgehend auf das Nebengestein über.

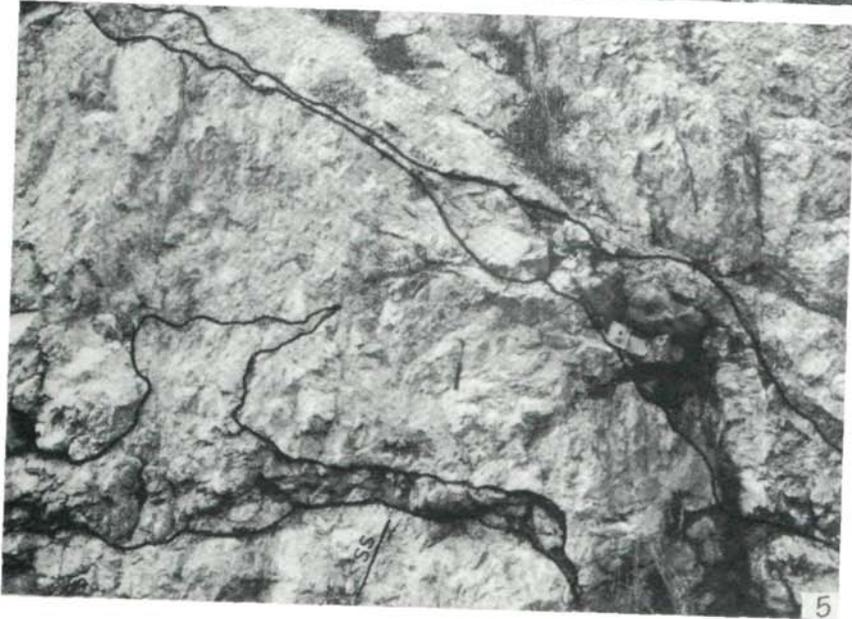
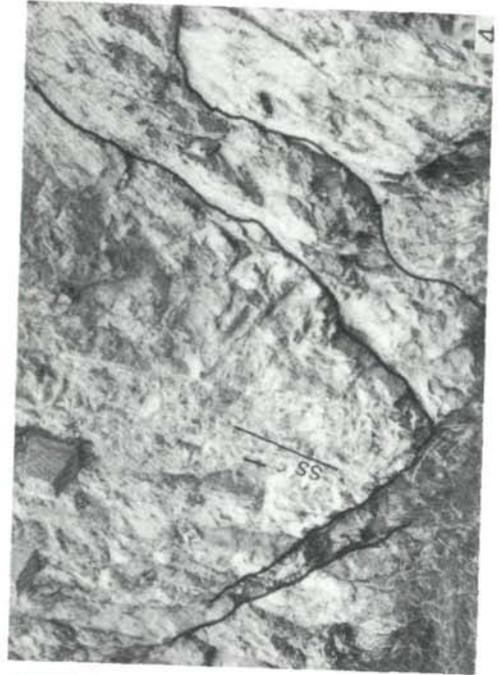
Abb. 8:

Diskordante Überlagerung des verkippten und verkarsteten Wettersteinkalkes durch Raibler Schichten. Auffahrt zum Gaichtpaß.

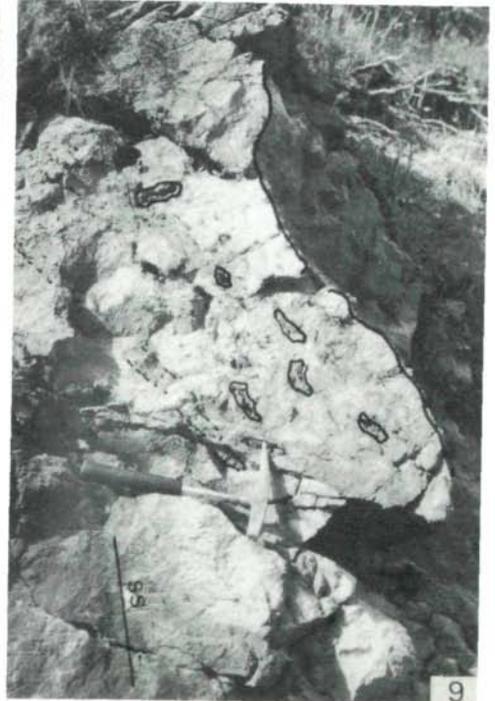
Abb. 9:

Ausschnitt aus Abb. 8. Lösungshohlräume zeichnen in Untergrund die verkarstete Wettersteinkalkoberfläche nach.

Fototafel 1



Fototafel 2



Synsedimentäre tektonische Verkippungen sind im Zirler Raum nicht nachzuweisen. Hier sind nur lokale Diskordanzen an der Schichtgrenze ausgebildet. An der Ostseite der Ehnbachklamm sind schöne Karrenfelder an der Oberfläche des trockengelegten Wettersteinkalkes zu beobachten, der Verlauf der Lösungsformen entspricht dem darunter ausgebildeten Spaltensystem.

Typische taschenförmige Lösungserweiterungen der Spaltenhöhlräume (Abb. 5,10) weisen im gesamten so beeinflussten Wettersteinkalk eine intensive Lösungstätigkeit durch meteorische Wässer nach. Auch in den tieferen Bereichen der Abfolge (z.B. in der Vorriffbreccie) sind echte Lösungshöhlräume entstanden.

3.2. Zur Entstehung der "Großoolithe"

Mit dem Zusammentreffen der oben beschriebenen Lösungshöhlräume und den sogenannten "Großoolithen" ergeben sich Probleme hinsichtlich der genetischen Deutung der Großoolithstrukturen, die gerade auch in der Vorriffbreccie in großer Zahl vorhanden sind. Sind diese Strukturen syngenetisch als primäre Riffwachstumshöhlräume entstanden oder epigenetisch im Zuge dieser frühkarnischen oder auch einer früheren Lösungsphase? Dazu muß gesagt werden, daß auch die tieferen Hohlraumvorkommen des Vorriffbereiches der Martinswand mit dem gleichen Internsediment verfüllt sind wie die hangenden und daher einer Internsedimentationsphase zuzuordnen sind.

Als syngenetische Großoolithhöhlräume sind sicher jene nachzuweisen, deren Wandungen primär biogen gebildete Anlagerungsgefüge aufweisen. Daneben sind jedoch auch primäre Hohlraumgefüge in großer Zahl im Intergranularraum der oft weit ausgedehnten und mächtigen Riffschuttbreccien vorhanden. Diese sind insbesondere an der Innsbrucker Nordkette in enormer Größe (bis in den m-Bereich) entwickelt und können stellenweise auch heute noch nicht völlig verzementiert sein. Demgegenüber sind aber auch echte Lösungshöhlräume nachzuweisen, insbesondere dann, wenn diese in einem homogenen Gestein auftreten.

Alle drei Typen weisen die gleiche chemische Internanlagerung auf: sinterähnliche Krusten von fibrösem, undulös auslöschendem Kalzit - "radiaxialer faseriger Mosaik-Kalzitzement", BATHURST, 1959, - kleiden tapetenartig in mehreren Generationen die Höhlräume aus. Die einzelnen Kalzitkristalle erreichen Längen bis zu 10 mm. Völlig die gleiche Zementart kommt auch in den schon erwähnten Höhlräumen der Reiflinger Schichten vor. Dies unterstreicht die Unabhängigkeit dieser Zementation von unmittelbaren Nebengestein, das heißt, die Zementation erfolgte jedenfalls nicht syngenetisch.

Die Genese dieses Zementtyps ist in letzter Zeit in Diskussion gekommen. Er wurde u.a. als Rekristallisationsprodukt von primärem submarinem Aragonitzement gedeutet (KENDALL & TUCKER, 1973, u.a.). Jedoch erreichen rezente submarin gebildete Faserzemente Kristalllängen von lediglich einigen 100 μ . Submarine Zementation konnte von JAMES et al., 1976, vor allem in kleineren intergranularen Porenräumen der siltigen Internsedimente der Riffe im westlichen Atlantik (British Honduras) nachgewiesen werden. Dagegen ist in Höhlräumen >1 mm keine submarine Zementation zu beobachten. Die wesentlich größeren Großoolithhöhlräume sind fast ausschließlich mit mehreren Zementgenerationen verfüllt.

Dies wäre bei einer syngenetischen submarinen Zementation nur schwer verständlich in Anbetracht des großen Schuttangebots durch das Riffwachstum. In den seltenen Fällen, wo in Großoolithen auch riffogene Internsedimente vorhanden sind, ist ein dem radiaxialen Faserzement vorangehender, wesentlich dünnerer Faserzement gut abzutrennen (Abb. 11). Nach Ausbildung des radiaxialen faserigen Kalzitements ist dann allerdings keine riffogene Internsedimentation mehr erfolgt. Auch damit erweist sich der radiaxiale Faserkalzit als sicherlich nicht frühesten Zementtyp.

Bei genauer Untersuchung der auffallend glatten Oberfläche der einzelnen Faserzementlagen sind bei Anlagerung von mikritischem Material die ursprünglichen Endformen der faserigen Kristalle zu erkennen (FOLK & ASSERETO, 1976). Dabei fällt auf, daß nahezu ausschließlich faserige Endungen erhalten sind, und keine rhombischen oder skalenoidrischen. Meist sind die Fasern gebündelt und zeigen dann quadratische Endungen, "square-ended" nach den oben zitierten Autoren. Nach FOLK & ASSERETO seien diese reliktschen Strukturen typisch für einen ehemaligen Aragonitzement. Die heute vorliegenden Faserkalzite sind häufig mit ihren c-Achsen parallel zur Faserrichtung orientiert ("length-fast" nach FOLK & ASSERETO), aber auch quer dazu ("length-slow"), wie schon SCHMIDEGG, 1928, feststellte. Die interkristallinen Grenzen verlaufen unregelmäßig und an nicht ebenen Flächen, die Kristalle sind demnach nicht frei gewachsen. Eine primäre Entstehung des radiaxialen Faserkalzits, wie sie auch noch SCHNEIDER, 1977, annimmt, ist daher auszuschließen.

Häufig sind den bis 1 cm dicken Faserkalzitlagen dünne Lagen mit feinkristallinen Dolomitrhomboedern zwischengeschaltet (Abb. 12). Es ist mit GERMANN, 1966, anzunehmen, daß bereits primär entsprechende Kristallisationskeime lagenweise angereichert wurden. Dies läßt wiederum Rückschlüsse auf den wechselhaften Chemismus der Porenwässer zu. Lagenweise vorkommende Algen, Bakterien oder andere Mikroorganismen könnten jedoch auch kurzfristig den CO_2 -Partialdruck gesenkt und so zur Anreicherung von Mg-Karbonat beigetragen haben. Allerdings konnte bisher in den Großoolithen keine organische Substanz nachgewiesen werden. Bei den gegebenen Verhältnissen ist jedoch eher an eine vorübergehende Änderung der Salinität durch Einfluß meteorischer Wässer zu denken. So eine kurzfristige Änderung des Chemismus kann die Unterbrechung des Wachstums des fibrösen Zements zur Folge haben (FOLK & LAND, 1975) und so den charakteristischen Wechsel mehrerer Zementgenerationen herbeiführen. Die primäre Einschaltung Mg-reicher Karbonate gibt jedoch noch zusätzlich zu den oben beschriebenen Zementstrukturen einen Hinweis auf die primäre Zusammensetzung der Faserkalzite. Bei dem folglich gegebenen hohen Mg/Ca-Verhältnis wird bei rascher Fällung, bedingt durch reaktionskinetische Gründe, bevorzugt Aragonit gebildet.

Fibröse Aragonitzemente ähnlichen Ausmaßes wie die Faserzementlagen in den Großoolithen sind von rezenten Pisolithen und Beachrocks des hypersalinen supratidalen Bereichs des Persischen Golfs bekannt (SCHOLLE & KINSMAN, 1974). Auch in Spelaethemen kommen bei einem entsprechenden Mg/Ca-Verhältnis

>2 Aragonitsinter lagenweise vor (FOLK & ASSERETO, 1976).

Die isopache Auskleidung der Großoolithhohlräume mit Faserzementlagen setzt eine vollkommene Füllung mit Porenwässern voraus. Erst im hangenden Wettersteinkalk treten mir Mikrostalaktiten, "cave popcorn" (Abb. 13) (THRAILKILL, 1976) und pisolithischen Gefügen Bildungen des marin vadosen Diagenesebereichs auf.

Es stellt sich nun die Frage, woher sind Porenwässer mit einem relativ hohen Mg/Ca-Verhältnis und einem z.T. hypersalinen Chemismus kurz nach der Bildung der Großoolithhohlräume im Untergrund des wachsenden Riffs zu beziehen? Die Lösung dieses Problems liegt in der charakteristischen paläogeographischen Entwicklung der Wettersteinkalkriffe. Insbesondere im Cordevol stellt sich eine ausgeprägte regressive Riffentwicklung ein. Relative Meeresspiegelabsenkung bewirkt ein verstärktes Vorwachsen der Riffe in Richtung offenes Meer der Beckenräume.

Die nachfolgenden Lagunensedimente zeigen wiederholt Anzeichen von Evaporation und Emersion (SARNTHEIN, 1967). Zum Teil hypersalinare Wässer können durch die gegebene Konstellation aus der Lagune in die etwas tiefer gelagerten Porenräume des abgestorbenen Riffes und Riffschuttbereiches vorwandern und hier die Bildung der Aragonitsinter verursachen (Abb. 14). Auch Salinitätsänderungen durch Einfluß meteorischer Wässer in der Lagune können sich hier auswirken. Anhand dieses Modells ist die Bildung der Großoolithe völlig unabhängig von der späteren frühkarnischen Regression möglich.

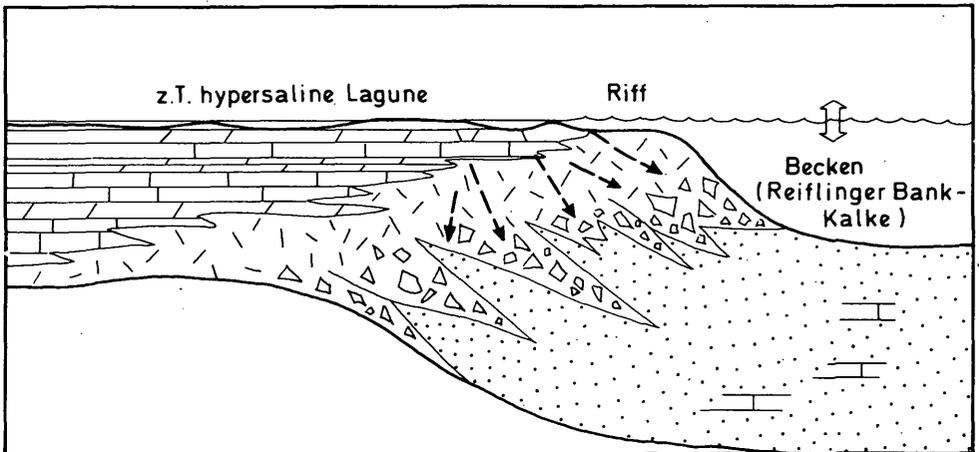


Abb. 14: Modell zur Großoolithentstehung. Regressive Riffentwicklung mit Eindringen von z.T. hypersalinen Wässern in das Hohlräumssystem von abgestorbenem Riff und Riffbreccie.

Nicht alle Großoolithohlräume wurden völlig verzementiert. Eine "Restporosität" hat sich zum Teil bis heute erhalten und war natürlich vor Einsetzen der Sedimentation der Raibler Schichten ebenso vorhanden. So ist ein Teil der frühkarnischen Internsedimentation auch in derartige Restporositäten erfolgt, das alte Hohlraumsystem wurde wieder benützt, lösungserweitert und diagenetisch verändert. Durch die tektonische Spaltenbildung wurden bezüglich der Raibler Schichten auch sehr tief gelagerte, noch offene Großoolithe von den Veränderungen durch diese Regressionsphase noch betroffen. Hinweise dafür sind gegeben z.B. durch das vereinzelte Ansetzen von mikrostruktivem Zement auf isopachen fibrösen Zement (Abb.15). Auch die mit den Großoolithen häufig in Zusammenhang auftretenden authigenen Salinarquarze (Abb.12) sind eine epigenetische Bildung und erst in Verbindung mit der frühkarnischen Regression bzw. deren Vorläufern im obersten Wettersteinkalk zu deuten. Ihre Entstehung kann auf die Reaktion von kieselsäurehaltigen Lösungen mit elektrolytreichen Lösungen zurückgeführt werden (GRIMM, 1964). Kieselsäurehaltige Lösungen sind jedoch frühestens mit dem Einfluß terrigen klastischer Sedimentation im obersten Wettersteinkalk ("Sonderfazies" s.u.) zu erwarten.

3.3. Internsedimente

Mit der Internsedimentation hat sich bereits der so auffallende Umschwung in der Sedimentation von den rein karbonatischen Gesteinen des Wettersteinkalkes zu den siliziklastischen Sedimenten des 1. Raibler Schiefertons vollzogen.

Durch ihre oft gelblichbraune bis rostige Anwitterung fallen im frischen Bruch dunkelgraue, bereichsweise grüngraue, fein- bis grobkristalline Dolosparite auf, die unterschiedliche Ton- und Pyritgehalte führen. Siliziklastischer Siltanteil ist vereinzelt bereits vorhanden. Dieser Internsedimenttyp ist weit verbreitet und bildet im Raum Zirl den Hauptanteil. Insbesondere im liegenden Bereich folgen diese völlig sterilen Sedimente auf die randlichen faserigen Sinterbildungen der Großoolithe (Abb.15,18) Verschieden große, in die Hohlräume hereingebrochene Nebengesteinsbrocken können mitunter lokale Breccienbildungen verursachen. Ebenso führt im Bereich von sich kreuzenden Spaltensystemen internes Zerbrechen und nachfolgendes Eindringen des Internsediments als Matrix zur lokalen Breccienbildung (Abb.4,5,19)

Vor allem im Wettersteinkalk südlich von Reutte sind neben den z.T. bereits siliziklastisch beeinflussten Dolospariten sandige Dolomite, Quarz-Feldspat-Sandsteine, z.T. mit Pflanzenhäcksel, und stark pyrithaltige Sandsteine als Internsedimente verbreitet. Häufig ist eine auffallende Verdrängung des siliziklastischen Anteils durch die Dolomitisierung zu beobachten (Abb.20) Diese führt sekundär zum Vorherrschen des Dolomitanteils, siliziklastische Komponenten "schwimmen" dann im dolomitischen Basalzement.

Genetisch von Bedeutung ist der Mineralbestand der Quarz-Feldspat-Sandsteine:

Fototafel 3

Abb. 10:

Taschenförmiger Lösungshohlraum im oberen Wettersteinkalk, verfüllt mit Schiefertönen der Raibler Schichten. Alte Gaichtpaßstraße.

Abb. 11:

Riffhohlraum wurde zunächst mit einer dünnen Faserzementlage ausgekleidet; erst nach der frühen Internsedimentation folgt der typische radiaxiale Faserzement. Großoolithtyp aus dem mittleren Wettersteinkalk S Reutte. Balken = 3 mm.

Abb. 12:

Großoolith aus dem Wettersteinkalk des Heiterwandgebirges. Typischer Wechsel von dünnen dolomitischen Lagen und radiaxialen Faserkalzitlagen. Im Inneren des Großooliths Anhäufung von authigen gesproßten Quarzen (Q). Dünnschliff. Balken = 3 mm.

Abb. 13:

"Cave popcorn" in Hohlraumbildungen des oberen Wettersteinkalkes S Reutte. Balken = 3 mm.

Fototafel 4

Abb. 15 und 16:

Frühe Internsedimentation wird in mehreren Phasen unterbrochen durch Sedimentationsstillstände mit Aufwachsen von Faserzementlagen (a). Der noch offene Hohlraum wird epigenetisch durch die frühkarnische Regression nochmals verändert. Auf den isopachen Faserzement lagert sich polar mikrostralaktitischer Zement (b) an. Schwach toniger Dolosparit (c) verfüllt den verbleibenden Hohlraum. Dünnschliff aus dem mittleren Wettersteinkalk der Martinswand; Zirler Steinbruch. Balken = 3 mm.

Abb. 17:

Mikrostralaktitischer Zement (a), angelagert an unterschiedlich aufgebaute Hohlraumwandung aus verfestigtem Riffschutt (b) und Resten von Großoolith-Faserzement (c). (d) Tonig-mergeliges Internsediment der frühkarnischen Regression. Mittlerer Wettersteinkalk, Zirler Steinbruch. Balken = 3 mm.

Fototafel 5

Abb. 18: Verfüllung eines durch Lösung erweiterten Großoolithhohlraumes durch toniges Internsediment mit Dolomitneusprossung. Mittlerer Wettersteinkalk, Zirler Steinbruch. Dünnschliff.

Balken = 5 mm.

Abb. 19:

Internsedimentationsbreccie aus einer Hohlraumfüllung im oberen Wettersteinkalk der Zirler Auffahrt. Anschliff. Unterer Bildrand = 5,3 cm.

Abb. 20:

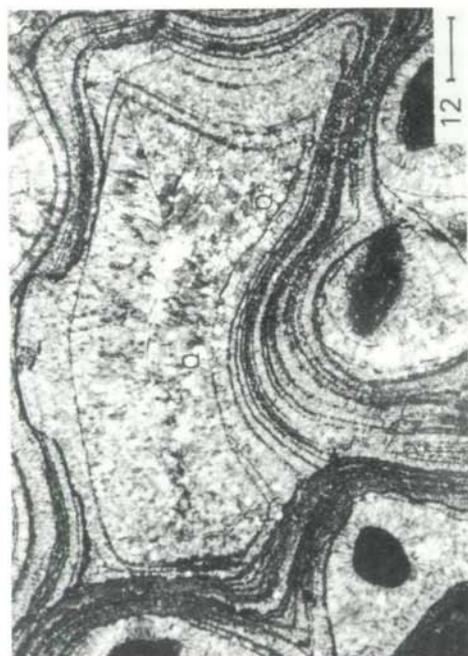
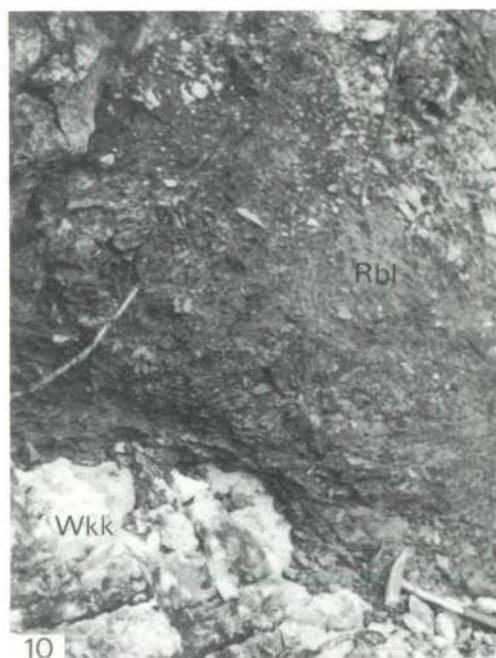
Diagenetisch weitergewachsene detritische Feldspäte (F) werden durch Dolomit (D) verdrängt. Internsedimentationstyp aus dem mittleren Wettersteinkalk der Ehrenburger Klause, S Reutte.

Balken = 0,1 mm.

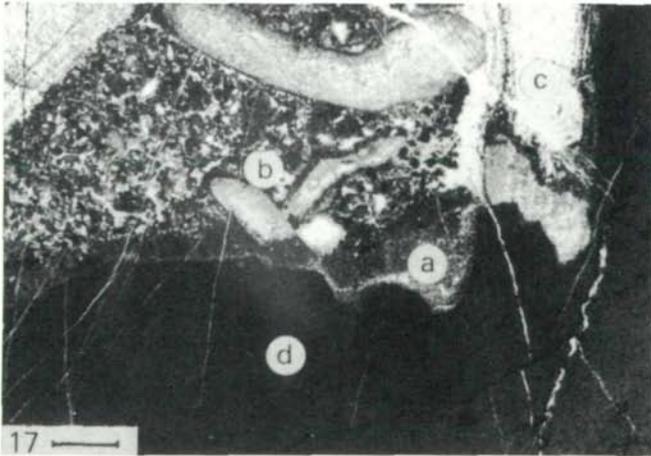
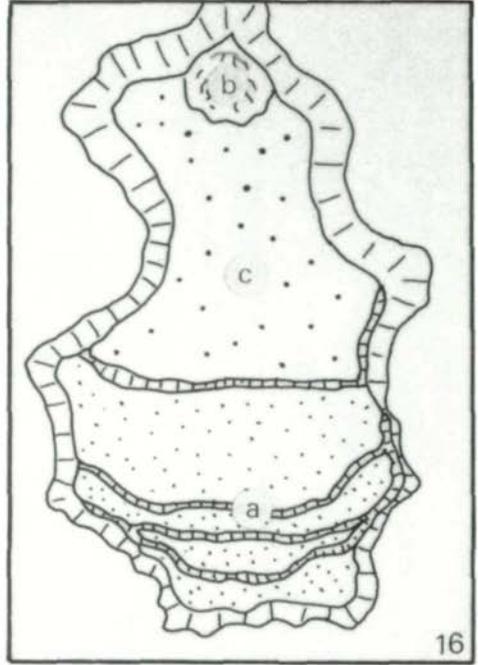
Abb. 21:

Quarz-Feldspat-Sandstein mit Sphärolithen (Sp), mikrokristallinen Gesteinsbruchstücken (mQ), diagenetisch weitergewachsenen Feldspatkörnern (F) und Quarz (Q). Internsediment im mittleren Wettersteinkalk der Ehrenburger Klause. Balken = 0,1 mm.

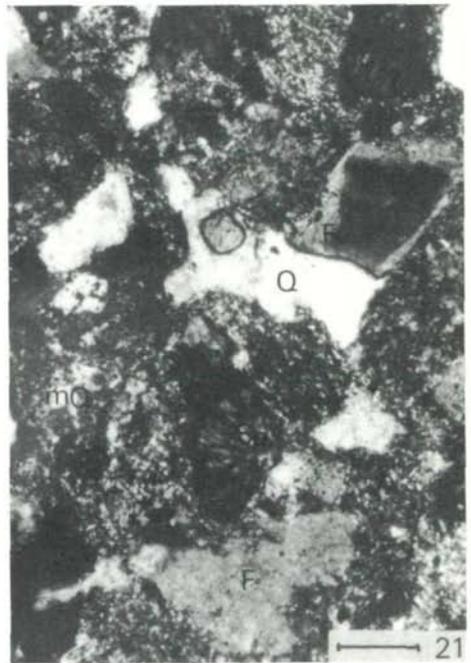
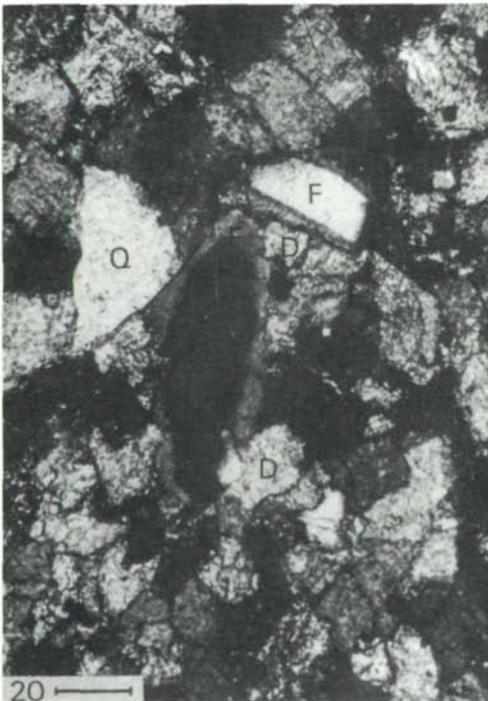
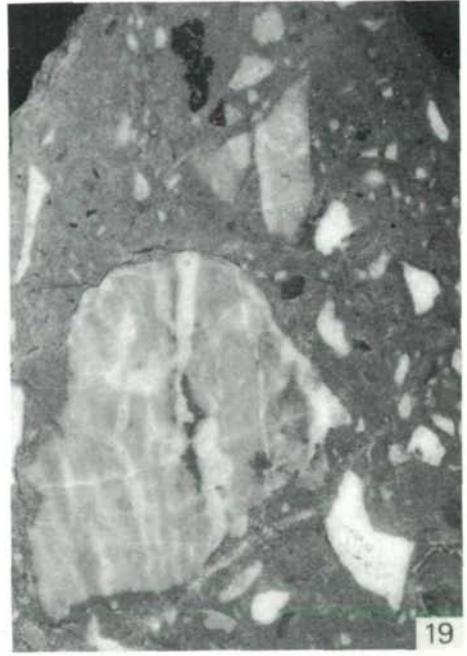
Fototafel 3



Fototafel 4



Fototafel 5



Häufig undulöse Quarzkörner, untergeordnet polykristalline Quarzkornaggregate mit verzahnten Korngrenzen; vereinzelt finden sich Korrosionsbuchten.

Schwach verwitterte Kalifeldspäte, weniger Plagioklas und Mikroklin; meist sind authigen gebildete Anwachsäume von vorwiegend Kalifeldspat vorhanden.

Gesteinsbruchstücke von mikroklinem Quarz; Hellglimmer und gebleichte Biotite. Dazu kommen authigener Pyrit und Dolomit. Schichtungsgefüge sind nicht zu erkennen, die angelagerten Körner zeigen kaum eine Anrundung. In auffallend großer Zahl sind die mikrokristallinen Gesteinsbruchstücke vorhanden, die z.T. gewissen Hornsteintypen ähneln können. Doch kann aufgrund des Vorkommens von Mikrolithen in diesen Aggregaten bzw. von Sphärolithen eindeutig auf die vulkanische Herkunft dieser Gesteinsbruchstücke geschlossen werden. Entglasung führt zum hornsteinähnlichen Aussehen dieser Komponenten (Abb. 21).

Als Liefergestein kommen dafür nur saure bis intermediäre Vulkanite in Frage. Auch die vereinzelt zu erkennenden Quarzkörner mit Korrosionsbuchten weisen in diese Richtung. Eine Aufarbeitung der weit verbreiteten permischen Quarzporphyre ist als das Nächstliegende anzunehmen. Andererseits sind charakteristische polykristalline Quarzkornarten und das Vorkommen von Mikroklin bezeichnend für ein metamorphes Herkunftsgebiet. Auch JERZ (in: SCHNEIDER & WALDVOGEL, 1964): konnte in Sandsteinen des oberen Wettersteinkalkes von den klassischen Aufschlüssen im Pöllatbett (KOCKEL et al., 1931) buchtig korrodierte Quarzfragmente finden und erinnert dabei an ähnliche Einsprenglinge in Quarzporphyren. Allerdings spricht er sich gegen eine Einlagerung in Lösungshöhlräumen aus.

3.4. Diagenetische Veränderungen

3.4.1. Feldspatneubildung

Frühdiaenetische Veränderungen in Sandsteinen können nach FÜCHTBAUER, 1974, Hinweise auf das Ablagerungsmilieu geben. Hier sind in erster Linie die reichlich vorhandenen Anwachsäume von vorwiegend K-Feldspat anzuführen. Nahezu jedes Feldspatkorn wird von einem optisch allerdings anders orientierten neu gebildeten Saum umgeben (Abb. 20, 21). Entglasungsvorgänge des vorhandenen pyroklastischen Materials als auch eine anzunehmende Bodenbildung (s.u.) in klastischem Material am Top der Plattform liefern genügend für die Feldspatbildung notwendige Alkalien. Entsprechend den Untersuchungen von FÜCHTBAUER, 1974, deutet die Neubildung von vorwiegend K-Feldspat auf ein Süßwassermilieu hin. Allerdings kann nach diesem Autor auch eine starke NaCl-Ausfällung ebenso zu einer Erhöhung des K/Na-Verhältnisses führen.

In unserem Fall ist eine lokale Evaporation bei der langsam wieder einsetzenden Überflutung der Karbonatplattform durchaus möglich. Gerade die Verdrängungserscheinungen der Siliziklastika durch die Dolomitneubildung können durch ein derartige Extremmilieu gut erklärt werden. Nur bei pH-Werten > 9 ist in alkalischen Lösungen (FRIEDMAN et al., 1974) gleichzeitig Lösung von

SiO₂ und Fällung von Karbonat möglich. Im marinen Milieu ist normalerweise ein pH-Wert um 8 gegeben. Evaporation oder verstärkte Photosynthese von z.B. Algenmatten und damit verbundener Entzug von CO₂ kann den pH-Wert über 9 ansteigen lassen. Am Roten Meer wurden im Auftauchbereich der Riffe, in vom offenen Meer abgeschlossenen Tümpeln entsprechende pH-Werte gemessen (FRIEDMAN et al., 1974). Mg-Kalzit verdrängt hier terrigene Quarzkomponenten. Auch die weit verbreiteten Salinarquarze und Flußspatneubildungen (SCHNEIDER, 1954) im Wettersteinkalk sind ein Indiz für ein evaporitisches Environment.

Andererseits wurde von der Basis des 1. Raibler Tonschiefers regional ein Anreicherungs-horizont von Al-Hydroxid (Hydrargillit = "Zirlit" PICHLERS) beschrieben. JERZ (1966) konnte an mehreren Stellen knapp oberhalb der Wettersteinkalk-Hangendgrenze diesen Anreicherungs-horizont nachweisen und deutet diese Bildungen als Einschwemmungen von einem Liefergebiet, wo kurzzeitig allitische Verwitterungsbedingungen geherrscht haben sollen. Allerdings sprechen m.E. gerade das horizontgebundene Vorkommen, die krustenartigen und knolligen konkretionären Bildungen gegen einen weiteren Transport und für lokale, mehr oder weniger autochthone Bodenbildungen. Es wäre auch nur schwer zu erklären, daß Hydrargillit bisher nur auf den Hochzonen und nicht in den Partnachbecken gefunden wurde. Sicher war zu dieser Zeit, knapp über der Wettersteinkalkobergrenze, das zuvor gebildete Karstrelief durch die klastische Sedimentation noch nicht voll ausgeglichen, so daß lokal entsprechende Verwitterungsbildungen möglich gewesen sind. Nur kurz andauernde allitische Verwitterungsbildungen ließen kein vollständiges Bodenprofil entstehen.

Dementsprechend ist anzunehmen, daß der 1. Raibler Schieferton an seiner Basis unter einem festländischen bzw. evaporitischen Ablagerungsmilieu gebildet wurde. Erst mit der folgenden Onkolithbank (in Zirl ca. 6 m über der Basis) sind mit dem Auftreten von marinen Faunenelementen die ersten sicheren Anzeichen für einen marinen Ablagerungsbereich gegeben⁺). Der Übergang zum marinen Ablagerungsbereich hat sich jedoch wohl schon früher vollzogen. Detaillierte tonmineralogische Serienuntersuchungen könnten hier noch exaktere Ergebnisse liefern.

3.4.2. Pyritisierung

An der Grenze Wettersteinkalk-Raibler Schichten ist häufig eine starke Anreicherung von Pyrit, heute durch Verwitterungsvorgänge meist Brauneisen, zu beobachten. Brauneisenkrusten und Pyritzerze plombieren z.T. sehr eindrucksvoll fossile Karstbildungen an der Obergrenze des Wettersteinkalkes. KOCKEL et al. (1931) u.a. fassen diese Bildungen als Reste festländischer Verwitterung auf, während JERZ (1966) und SCHULZ (1970) die "Pyritgrenzschwarte" als konkordante Einschaltung in der submarin abgelagerten Abfolge deuten. In einer sehr detaillierten Aufnahme dieser Grenzbildungen kann SCHULZ geopetale Anlagerungsgefüge in

⁺) Freundliche mündliche Mitteilung von Univ.-Doz.Dr.W. Resch, Innsbruck.

der Pyritgrenzschicht nachweisen.

Neben den Vorkommen direkt an der Raibler-Schichten-Grenze kommt Pyrit sehr häufig auch in den Internsedimenten vor und verursacht hier die charakteristische rostige Anwitterung. Insbesondere im hangenden Wettersteinkalk sind Spalten und Hohlräume mit gelförmigen Pyritkrusten verfüllt (z.B. Gaichtpaß) und teilweise mit einer Sandsteinführung anzutreffen. Gegen die Tiefe zu nimmt dann der Pyritgehalt in den Internsedimenten zunehmend ab, tief-liegende Internsedimente weisen nur noch vereinzelt Pyritführung auf.

Nach BERNER (1971) steuern im wesentlichen drei Faktoren die Bildung von Pyrit: Anreicherung des Fe-Gehaltes, Verfügbarkeit von gelöstem Sulfat und Konzentrierung organischer Substanz zur H₂S-Produktion durch sulfatreduzierende Bakterien. Meist ist die Herkunft des Eisens in detritischen Fe-reichen Mineralen zu suchen. Die auch als Internsedimente vorkommenden Quarz-Feldspatsandsteine bieten sich als unmittelbare Fe-Lieferanten an. Anreicherungs Vorgänge durch die anzunehmenden lokalen Bodenbildungen können einen Großteil des zur Pyritbildung notwendigen Eisens liefern.

Pyritvorkommen in Zusammenhang mit den Pb-Zn-Konzentrationen im obersten Wettersteinkalk, lassen jedoch auch an die von SCHULZ (1970) postulierte Fe-Herkunft durch schwache Exhalationen oder Thermen denken. Bei der zu dieser Zeit wieder verstärkt wirksam werdenden Distensionstektonik wären vulkanische Erscheinungen im unmittelbaren Bereich wohl nicht nachweisbar, jedoch in benachbarten Räumen durchaus möglich.

Aus dem Meerwasser ist der Sulfatgehalt zu beziehen. Schlierige, fleckenhafte Anreicherungs zonen von Pyrit im Internsediment lassen einen gewissen Gehalt an organischer Substanz vermuten.

Bald nach Verfüllung des Hohlraum systems und Überlagerung der verkarsteten Wettersteinkalkplattform mit fein- bis grobklastischen Sedimenten stellten sich auch durch die Zersetzung organischer Substanz reduzierende Bedingungen ein, die bei den gegebenen Faktoren eine Bildung von Pyrit favorisierten. Abnehmender Fe-Gehalt nach der Tiefe hin begrenzt die Pyritbildung in den tieferen Internsedimenten.

In ähnlicher Weise werden auch die Pyritneubildungen in den Internsedimenten des Wettersteinkalkes I (St. Veit) zu deuten sein.

3.4.3. Dolomitisierung

Zwei verschiedene Dolomitisierungsarten können im Wettersteinkalk beobachtet werden:

- a) Lagenweise, frühdiagenetisch gebildete Dolomite, die im Zuge der zyklischen Ablagerungen (supratidale Phasen) im oberen Wettersteinkalk entstanden sind.
- b) Stockförmige, unregelmäßig weit verbreitete, fein- bis grobkristalline Dolomitmörper. Unabhängig von primären Faziesunterschieden breiten sich diese Dolomite aus, in verschiedenen Fällen

offensichtlich gebunden an das vorgegebene Hohlraumsystem. Bei nur schwacher Dolomitisierung ist eindeutig eine Konzentrierung der Dolomitneubildung auf die Hohlraumssysteme und das unmittelbar benachbarte Gestein zu erkennen (Abb. 7).

Sehr klar kristallisieren sich bei den beiden Arten des Auftretens von Dolomit die zwei Modellfälle der Dolomitisierung heraus:

- 1) Fröhdiaogenetischer Mechanismus der Dolomitisierung, z.B. durch Evaporation und Laugenrückstrom durch eben gebildete Gezeitensedimente (ADAMS & RHODES, 1960).
- 2) Spätdiaogenetischer Dolomitierungsprozess, der nicht unbedingt auf eine Evaporation angewiesen ist, sondern auf der Mischung von Meerwasser und Süßwasser beruht ("Dorag"-Modell von BADIOZAMANI, 1973). Voraussetzung sind ausgedehnte Auftauchzonen, die die Entwicklung eines entsprechenden Grundwasserkörpers erlauben. Nach BADIOZAMANI nimmt die Übersättigung für Dolomit mit dem Zustrom von Meerwasser in Süßwasser zu. Brackwasser im Mischungsverhältnis von 5-30% Meerwasser sei bezüglich Kalzit untersättigt, jedoch übersättigt für Dolomit.

In unserem Fall ist anzunehmen, daß mit dem neuerlichen Abtauchen der Karbonatplattformen Meerwasser auf noch vorhandene Süßwasserlinsen im Untergrund trifft und so dem Dorag-Modell entsprechende Mischungsverhältnisse vorliegen. Umgekehrt wäre die Mischung von Meerwasser und Süßwasser auch beim Auftauchen der Karbonatplattformen möglich, jedoch läßt der eindeutige Zusammenhang der Internsedimentation mit der Dolomitisierung eher auf die erste Möglichkeit schließen.

In vielen Fällen wird so die häufige Dolomitisierung des Wettersteinkalkes zu klären sein, vor allem dann, wenn ausgedehnte Auftauchzonen nachgewiesen werden können. Eine ähnliche Situation ist z.B. auch im Ramsaudolomit südlich des Inns anzutreffen. Hier erscheint mir eine Trennung der Begriffe "Wettersteindolomit" und "Ramsaudolomit" nicht zielführend, da ja beide Typen epigenetisch dolomitisiert wurden. Auch für den Schlerndolomit der Südtiroler Dolomiten ist entsprechend den paläogeographischen Gegebenheiten neben einer fröhdiaogenetischen Dolomitisierung das epigenetische Dorag-Dolomitierungsmodell gut anzuwenden.

3.5. Zusammenfassung und Diskussion der Ereignisse an der Grenze Wettersteinkalk-Raibler Schichten

Folgender Ablauf der Prozesse kann aufgrund der Untersuchungsergebnisse in beiden bearbeiteten Räumen angenommen werden:

- 1) Nachlassen der Subsidenz und relative Meeresspiegelabsenkung im Lauf des unteren Karns drücken sich in einer regressiven, flächig ausgedehnten Riffazies aus. Das Riffwachstum konnte diesen Umstand nur durch ein Vorgreifen in die noch verbliebenen Partnachbecken kompensieren. Zyklische Gezeitensedimentation mit Emersionsperioden (BECHSTÄDT, 1975) zeichnen im hangenden Wettersteinkalk das Ende der Plattformentwicklung ab.

2) Sedimentäre Bruchtektonik bzw. noch weitere Meeresspiegelabsenkung führen zur Heraushebung von Inselbereichen auf der Karbonatplattform. Tektonische Verstellungen des Untergrunds weisen auf eine starke Reliefbildung hin. Ein tiefgreifendes Spaltensystem fördert das Eindringen von meteorischen Wässern bis in eine Tiefe von örtlich mindestens 800 m. Die Entwicklung eines Grundwasserkörpers unbekanntem Ausmaßes kann angenommen werden. Lösungserweiterung der Spaltenhöhlräume und Neubildung von Lösungshöhlräumen als auch eine entsprechende Karsttopographie am Top der Plattform sind die Folge. GHYBEN und HERZBERG stellten fest, daß die Süßwasser-Salzwassergrenze, bezogen auf den Meeresspiegel, entsprechend den unterschiedlichen Dichteverhältnissen etwa 40 mal tiefer liegt als der Süßwasserspiegel über dem Meeresspiegel. Dieser Theorie folgend müßte bei einer Tiefererstreckung des frühkarnischen Aquifers von 800 m der Wasserspiegel des süßen Grundwassers ca. 20 m über dem Meeresspiegel liegen. Dieser Wert kann für unsere Situation als durchaus realistisch angenommen werden.

3) Mit dem neuerlichen relativen Meeresspiegelanstieg nach dem Abtauchen der Plattformen ergibt sich ein sehr wechselhafter Chemismus in den Porenwässern. Die phasenhafte Zementation in den Hohlräumen mit Faserkalzit und Dolomit spiegelt die Wechselhaftigkeit wider. Es ist jedoch anzunehmen, daß ein großer Teil der Großoolithe bereits älteren evaporitischen Phasen zuzuschreiben ist.

4) Die folgende siliziklastische Internsedimentation zeigt mit ihren verschiedenen frühdiagenetischen Veränderungen eine Sedimentation im z.T. evaporitischen Environment an. Lokale Anzeichen allitischer Verwitterung an der Basis des 1. Raibler Schiefertones weisen auf ein noch vorhandenes Bodenrelief hin. Fe-reiche Lösungen führen in tieferen Bereichen unter reduzierenden Bedingungen zu oft stark angereicherter Pyritbildung. Entsprechend dem Dorag-Modell fördert Brackwasserbildung im Untergrund die Dolomitisierung großer Bereiche des Wettersteinkalkes.

5) Erst mit dem Auftreten mariner Fossilien in der Onkolithbank des 1. Raibler Schiefertones sind normal marine Verhältnisse wieder gegeben. Innerhalb des 1. Schiefertones wurden über weite Bereiche der Nördlichen Kalkalpen noch vorhandene Reliefunterschiede, vor allem zu den Partnachbecken hin, ausgeglichen (vgl. HARSCH, 1970).

Vereinzelt machen sich jedoch noch während der Sedimentation der Tone durch die sedimentäre Bruchtektonik gebildete Hochzonen bemerkbar. STENGEL-RUTKOWSKY (1960) erwähnt von der näheren Umgebung von Lech frühkarnische Unebenheiten, über die die Raibler Schichten mit groben Konglomeraten transgredieren. Auch die sogenannte "Westschachtscholle" der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth kann als eine derartige durch sedimentäre Bruchtektonik gebildete Hochzone gedeutet werden. Konglomerate und Breccien in den transgredierenden Raibler Schichten kommen auch hier vor (BECHSTÄDT, 1975b, SCHULZ, 1975).

3.5.1. Zur "Sonderfazies" und der Herkunft der "grünen Mergel"

Bruchtektonische Erscheinungen und Emersionen sind nicht nur auf die beiden bearbeiteten Räume beschränkt. Auch im Bereich der "Sonderfazies" (SCHNEIDER, 1954) im oberen Wettersteinkalk wurden insbesondere aus dem detailliert untersuchten Bleiberger Lagerstättenbereich ähnliche Phänomene durch SCHULZ und BECHSTÄDT bekannt. Unregelmäßig zwischengeschaltete "schwarze Breccien", verbunden mit grünen mergeligen Dolomiten, charakterisieren diese Fazies. Eine primär zyklisch angelegte Abfolge wird von einer späteren Bruchtektonik überprägt. Spalten- und Hohlraumfüllungen mit unseren Internsedimenten vergleichbaren Sedimenten lassen eine ähnliche Genese vermuten.

WOLFF (1973) beschreibt vom Kalkalpennordrand zwischen Wendelstein und Kampenwand Faziessonderausbildungen, die nichts mit den primären Ablagerungsbedingungen des Wettersteinkalkes zu tun haben. Die Sonderfazies mit grünen Mergeln und Mergelkalken, "schwarzen Breccien" u.a. tritt hier nicht nur im Hangenden auf, sondern bereits in einem tieferen Bereich über max. 70 m Wettersteindolomit. Dies könnte m.E. der oben beschriebenen mittelladinischen Emersionsphase entsprechen.

Ebenfalls am Kalkalpennordrand in einem Steinbruch bei Lanzing (Marquartstein) konnten mit grünen Mergeln verfüllte Karsthohlräume und Spaltensysteme erkannt werden. Dies widerspricht der Auffassung von GANSS (1975), der die Hohlräume als primäre Riffhohlräume deutet. Einer Analyse der grau-grünen Internsedimente von SAIGER (in GANSS, 1975) folgend, macht das Vorkommen von Glaspartikeln eine vulkanische Herkunft wahrscheinlich.

Auch andere Autoren (KOSTELKA & SIEGL, 1966; SCHNEIDER et al., 1977) haben versucht, die Tuffnatur der "grünen Mergel" im oberen Wettersteinkalk nachzuweisen. BECHSTÄDT, 1975b, und andere Autoren dagegen erklären diese als Lösungsrückstände infolge zyklisch auftretender Emersionen im oberen Wettersteinkalk. Der offensichtlich so aussagekräftige Gehalt an Glaspartikeln könnte aber, so wie bei unseren Internsedimenten mit allerdings bereits entglasten Partikeln, auch als Aufarbeitungsprodukt permischer Quarzporphyre gedeutet werden.

Allein aus der gesamten paläogeographischen Position am Ende der Sedimentation der Wettersteinkalk-Plattform ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß auch die grünen und roten mergeligen Sedimente der Sonderfazies ein ähnliches Herkunftsgebiet haben wie die Klastika der Raibler Schichten und die oben beschriebenen Internsedimente. Das heißt, alle sind Aufarbeitungsprodukte der weit verbreiteten variszisch subsequenten Vulkanite und des metamorphen Untergrundes. Entsprechend der Entfernung vom Hinterland wird toniges oder sandiges Material angeliefert und entsprechend dem jeweiligen Environment diagenetisch verändert. So unterschiedlich die Mineralgehalte letztlich auch sein mögen, entsprechende Variationen bei \pm gleichem Ausgangsmaterial sind unter den extremen Ablagerungsbedingungen durch frühdiagenetische Veränderungen durchaus möglich. Starke Verschiebungen im Quarz-Feldspatverhältnis, Neubildungen von Tonmineralien etc. werden z.B. von HAY, 1966 (zit. in FÜCHTBAUER

& MÜLLER, 1977) von im salinaren Milieu abgelagerten Tuffen nachgewiesen.

So kann z.B. der von BECHSTÄDT (1975a) angegebene, auffallend geringe bis fehlende Quarzanteil in den grünen Mergeln von Bleiberg-Kreuth durch die anzunehmenden evaporitischen Ablagerungsbedingungen und die damit rasch steigende Quarzlöslichkeit gut erklärt werden. Daneben ist in demselben Milieu eine Neubildung des für die grüne Färbung z.T. wohl verantwortlichen Chlorits häufig zu beobachten. Ja selbst eine Neubildung des für tuffogene Sedimente so charakteristischen Montmorillonits wäre bei unserem angenommenen Ausgangsmaterial bei den gegebenen Bedingungen möglich (FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT, 1959, zit. in: FÜCHTBAUER & MÜLLER, 1977). Zudem werden Fe-Verbindungen bei unterschiedlichen Redoxpotentialen starken Änderungen unterworfen (GARRELS & CHRIST, 1965, zit. in: FÜCHTBAUER & MÜLLER, 1977). Rote und grüne Verfärbungen der in die Sonderfazies eingeschalteten Mergel sind Zeuge dessen.

Auch im Hangenden der Raibler Schichten sind sowohl im Hauptdolomit (MÜLLER-JUNGBLUTH, 1971) mit Übergängen zu "Bunten-Keuper"-Einschaltungen in nördlichen Randgebieten als auch im Dachsteinkalk tonig-mergelige Einschaltungen schon lange bekannt. Die an die Dachsteinkalkzyklen gebundenen roten und grünen Mergellagen ("member A" FISCHERS, 1964) können zwanglos mit den gleichartig entstandenen "grünen Mergeln" des oberen Wettersteinkalkes verglichen werden. Auch hier ist das fast völlige Fehlen von Quarz bezeichnend (BECHSTÄDT, 1975a). Ähnlich wie zur Zeit des oberen Wettersteinkalkes war das gleiche schuttliefernde Hinterland wieder weiter entfernt.

3.6. Zyklische Ablagerung und sedimentäre Tektonik

Die genaue Analyse der Ereignisse zu Beginn der Ablagerung der Raibler Schichten ermöglicht ein besseres Verstehen des abrupten Faziesumschwungs von karbonatischer zu terrigen klastischer Sedimentation. Der Nachweis einer starken Emersion in enger Verbindung mit bruchtektonischen Erscheinungen und einem nachfolgenden, relativ raschen Anstieg des Meeresspiegels führte zu diesem charakteristischen und weit verbreiteten Fazieswechsel. Der sich im Hangenden zyklisch wiederholende Umschlag von karbonatischer zu klastischer Sedimentation kann folgendermaßen erklärt werden:

- a) Absenkung des Meeresspiegels und tektonische Aktivität führten zum Vorrücken der Küstenlinie bzw. zur Reliefverjüngung im schuttliefernden Hinterland. Die große Anhäufung von terrigen klastischem Material erfordert zudem die Entwicklung eines entsprechenden Gewässernetzes am Festland.
- b) Eine relativ rasche Hebung des Meeresspiegels verursacht die gleichförmige Verteilung des klastischen Materials über weite Bereiche. Durch den raschen Meeresspiegelanstieg kommt die Karbonatproduktion erst langsam nach und baut in der Folge bei
- c) abermaliger langsamer Meeresspiegelabsenkung eine regressive Karbonat- bis Evaporitfolge auf. Vor allem im oberen Teil der Raibler Schichten sind Evaporite sehr häufig. Örtlich einsetzen-

der neuerlicher Süßwassereinfluß führt teilweise zur Lösung der Evaporite und schließlich zum Kollaps der verbleibenden Sedimente. Breccien bzw. Rauhacken sind die Folge. Dies ist eine weit verbreitete Erscheinung an rezenten karbonatischen Flachmeerküstengebieten (LUCIA, 1972). Dedolomitisierungserscheinungen bestätigen den konträr zur Evaporation verlaufenden Diageneseablauf (BRANDNER, in Vorbereitung). Mit dem abermaligen Vorrücken der Küstenlinie gelangt wiederum terrestrisches Material zur Umverteilung.

Anhand dieses Modells kann das gegensätzliche Zusammentreffen von klastischer Sedimentation und Meeresspiegelanstieg zwanglos erklärt werden, ohne den etwas komplizierten Mechanismus von Heraushebung im Hinterland und gleichzeitiger Transgression des Meeres (BECHSTÄDT, 1978) heranzuziehen.

Generell kann in der Obertrias eine zyklische regressive Schichtabfolge durchgehend vom oberen Wettersteinkalk über die Raibler Schichten bis zum Dachsteinkalk beobachtet werden. Die Wettersteinkalkzyklotheme (BECHSTÄDT, 1973) zeigen einen ähnlichen Aufbau wie jene des Dachsteinkalkes, meist ist die regressive Phase durch Erosion verloren gegangen. Die wesentlich mächtigeren Raibler Zyklen weisen auch mächtigere regressive Abfolgen auf, durch stärkere Subsidenz sind sie erhalten geblieben. So gesehen muß als Verursacher der plötzlich verstärkt einsetzenden terrigen klastischen Sedimentation der Raibler Schichten die nachgewiesene tektonische Aktivität gelten, die als kurz dauerndes einschneidendes Ereignis den lang andauernden zyklischen Ablagerungsmechanismus überlagert. Zudem drückt sich die tektonische Instabilität auch durch die etwas raschere Absenkung des Untergrundes aus.

Möglicherweise ist auch das spätere abermalige Vorgreifen terrigen beeinflusster Sedimentation mit den Kössener Schichten in ähnlicher Weise zu verstehen.

4. Schlußbetrachtung

Aus den beschriebenen Umstellungen in der Sedimentation im Mittelladin und Cordevol/Jul kristallisiert sich ein für beide Ereignisse gemeinsamer Mechanismus heraus: Auftauchen und Zerbrechen der Karbonatplattformen mit darauf rasch folgender Transgression von Beckensedimenten. In beiden Fällen wurde das Ende der Karbonatplattformentwicklung nicht durch den Übergang zur terrigen klastischen Sedimentation herbeigeführt, sondern durch subaerische Exposition bzw. damit verbundene Evaporation.

Auffallend ist die räumliche, offensichtlich damit verbundene Anreicherung von sulfidischen Erzen. Ohne auf die problematische Frage nach der Herkunft der Metallösungen zunächst einzugehen, setzt dies in den beiden Karbonatkörpern einen ähnlich verlaufenden Fällungsmechanismus voraus. Die oben beschriebenen diagenetischen Veränderungen in den karbonatischen und klastischen Sedimenten laufen im Süßwasser-Salzwassermischungsbereich ab. Nach LONG & ANGINO (1977) sind das gerade auch jene Bedin-

gungen, unter denen Sulfidfällung verstärkt erfolgen kann. Die zweimalige Wiederholung ähnlicher Diageneseprozesse, jeweils verbunden mit Pb-Zn-Konzentrationen im Ladin und Cordevol, stützt die Annahme dieses Fällungsmechanismus.

Es ist naheliegend, durch die in beiden Fällen nachgewiesene Dehnungstektonik auch an eine vulkanische Beeinflussung zu denken. Diese macht sich ja auch zur gleichen Zeit in den Südtiroler Dolomiten bzw. in den Bergamasker Alpen stark bemerkbar. Nach ASSERETO et al. (1977) ist jedoch der Pb-Zn-Background in den Vulkaniten nicht höher als in den Beckensedimenten. Von Bedeutung hinsichtlich der Herkunft der Metallösungen könnte dagegen die nachgewiesene Aufarbeitung permischer Quarzporphyre sein. Bezüglich der mittel- und obertriadischen Pb-Zn-Lagerstätten ist dies der einzige näherliegende Vulkanismus, bei dem eine eindeutige Verbindung zu Pb-Zn-Konzentrationen nachgewiesen werden kann⁺).

Das Zusammentreffen von Auftauchphasen mit folgender epipelagischer Sedimentation ist ein weit verbreitetes Phänomen in der mediterranen Trias und scheint für die beginnende Geosynklinalentwicklung ein Charakteristikum zu sein. Eingeleitet wird diese Entwicklung gewöhnlich durch bruchtektonische Erscheinungen mit gleichzeitiger Reliefverjüngung im terrestrischen Hinterland. Terrigen klastische Verunreinigungen in den Beckenentwicklungen spiegeln dies wider. Dieser Einfluß terrigen klastischer Sedimente wiederholt sich in der anisisch-karnischen Abfolge der Nord- und Südalpen dreimal:

- 1) Beispielsweise zeigt das Anis der westlichen Gailtaler Alpen sehr markant eine tektonische Instabilität mit mächtigen Sandsteinschüttungen und folgender Beckenentwicklung. Auch diese Sandsteine sind Aufarbeitungsprodukte permischer Quarzporphyre und des metamorphen Untergrunds (BRANDNER, 1972).
- 2) Im Ladin sind einerseits die Partnachsichten, andererseits aber auch teilweise die Wengener Schichten der Südalpen Sedimente terrestrischen Ursprungs. Starke tektonische Aktivität führte zur Heraushebung des kristallinen Untergrunds in südlicheren Bereichen. Kristalline Gerölle und Sandsteine, zwischengelagert den Vulkanoklastika der Wengener Schichten, weisen diese Erosionsphase nach (CROS, 1974; ROSSI et al., 1976).
- 3) Nahezu einheitlich ist der frühkarnische terrestrische Einfluß im gesamten Raum beobachtbar. Wie oben beschrieben, ist in frühen Sandsteinschüttungen auch hier wiederum eine Aufarbeitung des kristallinen Untergrunds und des weit verbreiteten variszisch subsequenten Vulkanismus nachzuweisen. Vorläufer dieser Schüttungen machen sich bereits im oberen Wettersteinkalk mit den "grünen Mergeln" bemerkbar. Durch die generelle Verflachung und den Ausgleich der Niveauunterschiede zu den Partnachbecken.

⁺) Freundliche mündliche Mitteilung von Univ.-Prof. Dr. H. Mostler, Innsbruck, und MOSTLER, 1965.

hin, kann die klastische Sedimentation auch auf die Karbonatplattformen übergreifen.

Abgesehen von der Einschaltung der Kössener Schichten wurde selbst die hochmarine liassische Sedimentation noch einmal terrigen klastisch beeinflusst. Nach Heraushebung und teilweiser Verkarstung der obertriassischen Karbonatplattformen versinken diese nun endgültig ("Adneter Wende" nach SCHLAGER & SCHÖLLNERBERGER, 1974). In den folgenden Beckensedimenten beschreibt JACOBSHAGEN (1965) Sandsteineinlagerungen aus den Allgäuschichten. In den Bergamasker Alpen wurden ähnliche Einschaltungen genauer untersucht (GAETANI & POLLANI, 1978) und auch hier, wie schon zuvor, eindeutige Hinweise auf die Aufarbeitung von permischen Quarzporphyren und kristallinem Basement gefunden.

Damit erweist sich der allgemein als der eigentliche Beginn der alpinen Geosynklinalentwicklung gedeutete Umschwung im unteren Jura in seinem Mechanismus als völlig analog den wiederholt auftretenden tektonischen Ereignissen in der Trias. Einziger Unterschied bleibt die von SCHLAGER & SCHÖLLNERBERGER (1974) erkannte Reversibilität der triadischen Faziesumschwünge. Diese "Reversibilität" drückt sich in regressiven Abfolgen aus, die die jeweiligen Ausgangssituationen wieder herbeiführen. Als Grund dafür sind wohl die noch starke Schelfgebundenheit und der wiederholte Einfluß des terrestrischen Hinterlands anzusehen. Meeresspiegelschwankungen wirken sich hier wesentlich stärker aus als in den tief abgesenkten jurassischen Beckenbereichen.

Während der beginnenden Geosynklinalentwicklung macht sich eine phasenhaft räumlich ausbreitende Beeinflussung durch sedimentäre Tektonik bemerkbar. Waren die frühen tektonischen Verstaltungen noch beschränkt auf die zentralen Bereiche der Geosynklinale, so greift bereits die frühkarnische Tektonik auch auf terrestrische Randbereiche über. Damit ergibt sich im Lauf der Trias eine charakteristische Zonierung von Ablagerungsbereichen, die durch sedimentäre Tektonik geprägt wurden. Nebenbei bemerkt ist diese "Zonierung" m.E. auch eines der wenigen Hilfsmittel bei palinospastischen Rekonstruktionsversuchen.

Schon LEUCHS (1948) hat auf die weite Verbreitung des frühkarnischen Ereignisses auch außerhalb der Alpen hingewiesen. Diese weite Verbreitung ist wohl auch dadurch bedingt, daß hier tektonische Bewegungen des Untergrunds zusammen mit eustatischen Meeresspiegelschwankungen auftreten. Diese Kombination ist für die Triasentwicklung etwas Neues und unterscheidet sich von den älteren tektonischen Ereignissen, bei denen Meeresspiegelschwankungen noch nicht so ausgeprägt in Erscheinung getreten sind.

Sehr markant ist die karnische Grabenbruchtektonik in der Toskana mit Verrucano und der folgenden evaporitischen Fazies der Burano-Formation entwickelt und eindeutig mit unserem Raibler Ereignis zu korrelieren (s.a. BOSELLINI, 1973). Dies ist ein gutes Beispiel dafür, wie, zum Unterschied zu unserem bereits länger marinen Raum der Kalkalpen, sich die junglabrinische Phase (TOLLMANN, 1966) hier im bislang vorwiegend terrestrischen Bereich auswirkt. Auf der anderen Seite macht sich dieses Ereignis in dem vom Festland weit entfernten Hallstätter Beckenraum mit pelagischer Kalksedimentation lediglich durch eine

Mergeleinschaltung bemerkbar. Daneben wurde auch hier frühkar-nische Spaltenbruchtektonik nachgewiesen (SCHLAGER & SCHÖLLN-BERGER, 1974). Ähnlich wie in den jurassischen Beckenräumen konnten sich hier, durch die schon seit der unteren Mitteltrias geringe Sedimentationsrate, nicht die sonst so typischen regres-siven Entwicklungen einstellen (s.a. Abb.22).

Gegen Südosten nimmt die tektonische Aktivität, teilweise unter Neubelebung des Vulkanismus, weiter zu. Längere Auftauchphasen führen in den Dinariden zu Bauxitbildungen (HERAK, 1974). Die Zunahme tektonischer Aktivität gipfelt im Vorkommen von ober-triadischen Ophiolitkomplexen in der Südtürkei ("Antalya-Ophiolitkomplex", MARCOUX, 1970) und im "Mamonia-Komplex" von Zypern (ROBERTSON, 1978). Es kann angenommen werden, daß wei-tere obertriadische Ozeanbodenreste weiter im Osten noch erkannt werden. Ebenso frühe Ozeanbodenbildungen sind auch in den Apusener Bergen und der Dobrutscha bekannt (HERZ & SAVU, 1974). Die Vorkommen weisen auf die schon frühe Bildung eines nörd-lichen und südlichen Ozeanbodenstreifens hin, wie sie dann für Jura und Unterkreide von TOLLMANN (1978) angenommen wird.

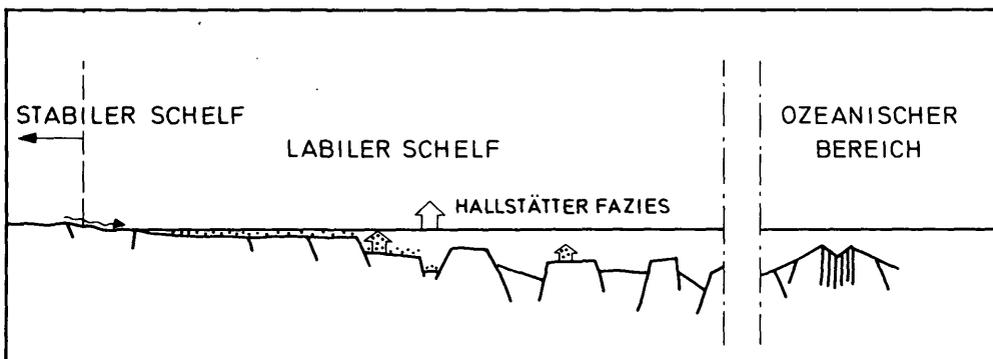


Abb. 22: Schematisiertes und überhöhtes Ablagerungsmodell für die Obertrias im mediterranen Raum mit der Entwicklung eines breiten labilen Schelfraumes und beginnender Ozeanbodenbildung im Osten und Südosten. Beachte das räumlich unterschiedliche Verhältnis von Meeresspiegelhebung (↑) und Sedimentationsrate (⊕).

Wir verstehen nun den Zusammenhang von bruchtektonischen Erscheinungen am breiten "labilen Schelf" (im Sinne von BECHSTÄDT et al., 1978) mit ausgedünnter Kruste und den erwähnten Ozeanbodenbildungen im Osten und Südosten. Auch die mit dieser tektonischen Aktivität zusammen auftretenden zyklischen Meeresspiegelschwankungen erscheinen aus dieser Sicht etwas verständlicher. In einer Zeit, in der klimatisch bedingte Meeresspiegelschwankungen auszuschließen sind, bietet sich das von FORNEY (1975) und HALLAM (1978) kreierte Modell an: Unterschiede in der Spreading-Rate bzw. episodische Hebungen und Senkungen ozeanischer Rücken wirken sich in Meeresspiegelschwankungen aus.

Damit ist das zufällig erscheinende Zusammentreffen von tektonischer Aktivität und zyklischen Meeresspiegelschwankungen in der Obertrias als charakteristische Kombination anzusehen, die vor allem im Schelfraum zu einschneidenden Umstellungen der Sedimentation führt.

Danksagung

Für anregende Diskussionen danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. H. MOSTLER und Herrn Univ.-Doz. Dr. W. Resch, beide Innsbruck.

Literaturverzeichnis

- ADAMS, J.E. & M.L. RHODES (1960): Dolomitization by Seepage Refluxion. - Bull.Amer.Assoc.Petrol.Geol. 44, 1912-1920.
- ANGERMEIER, H.-O.; PÖSCHL, A. & H.-J. SCHNEIDER (1963): Die Gliederung der Raibler Schichten und die Ausbildung ihrer Liegendgrenze in der "Tirolischen Einheit" der östlichen Chiemgauer Alpen. - Mitt.Bayer.Staatssamml.Paläont.hist.Geol., 3, 83-105, München.
- ASSERETO, R.; BRUSCA, A.; GAETANI, M. & F. JADOUL (1977): The Pb-Zn mineralization in the Triassic of the Dolomites. Geological history and genetic interpretation. - Engl. Übs., L'Industria Mineraria 1977, 1-34, Rom.
- BADIOZAMANI, K. (1973): The Dorag dolomitization model-application to the Middle Ordovician of Wisconsin. - J.Sediment.Petrol., 43, 965-984, Tulsa.
- BATHURST, R.G.C. (1959): The cavernous structure of some Mississippian Stromatolites reefs in Lancashire, England. - J.Geol., 67, 506-521, Chicago.
- BECHSTÄDT, T. (1974): Sind Stromatolites und radiaxialer fibröser Calcit Faziesindikatoren? - N.Jb.Geol.Paläont.Mh., Jg. 1974, H. 11, 643-663, Stuttgart.
- BECHSTÄDT, T. (1975a): Zyklische Sedimentation im erzführenden Wettersteinkalk von Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österreich). - N.Jb.Geol.Paläont.Mh., 149, 1, 73-95, Stuttgart.
- BECHSTÄDT, T. (1975b): Sedimentologie und Diagenese des Wettersteinkalkes von Bleiberg-Kreuth. Ein Hinweis zur Genese der Blei-Zink-Erze. - BHM, 120, 10, 466-471, Leoben.
- BECHSTÄDT, T. (1978): Faziesanalyse permischer und triadischer Sedimente des Drauzuges als Hinweis auf eine großräumige Lateralverschiebung innerhalb des Ostalpins. - Jb.Geol.B.-A., 121, 1, 1-121, Wien.
- BECHSTÄDT, T. & H. MOSTLER (1976): Riff-Beckenentwicklung in der Mitteltrias der westlichen Nördlichen Kalkalpen. - Z. dt.geol.Ges., 127, 271-289, Hannover.
- BECHSTÄDT, T.; BRANDNER, R. & H. MOSTLER (1976): Das Frühstadium der alpinen Geosynklinalentwicklung im westlichen Drauzug. - Geol. Rdsch., 65 (2), 616-648, Stuttgart.
- BECHSTÄDT, T.; BRANDNER, R.; MOSTLER, H. & K. SCHMIDT (1978): Aborted Rifting in the Triassic of the Eastern and Southern Alps. - N.Jb.Geol.Paläont.Abh., 156 (2), 157-178, Stuttgart.
- BERNER, R.A. (1971): Principles of chemical Sedimentology. - McGraw-Hill, New York, 240 S.
- BRANDNER, R. (1972): "Südalpinen" Anis in den Lienzer Dolomiten (Drauzug) (ein Beitrag zur alpin-dinarischen Grenze). - Mitt. Ges.Geol.Bergbaustud.Österr., 21, 143-162, Innsbruck.
- BOSELLINI, A. (1973): Modello geodinamico e paleotettonico delle Alpi Meridionali durante il Giurassico-Cretaceo. Sue possibili applicazioni agli Appennini. - In: ACCORDI, B. et al. (Ed.): Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino. - Acc.Naz.Lincei, Quad. 183, 163-205, Rom.
- BOSELLINI, A. & D. ROSSI (1974): Triassic carbonate buildups of the Dolomites, Northern Italy. - Soc.Econ.Paleont.Mineral., Sep.Publ., 18, Reefs in time and space, 209-233, Tulsa.

- CLAR, E. (1929): Über die Blei-Zinklagerstätte St. Veit bei Imst (Nordtirol). - Jb.Geol.B.-A., 79, 333-356, Wien.
- CROS, P. (1974): Un modèle de Sédimentation carbonatée marine: les platesformes dites récifales du Trias des Dolomites et leur environnement. - Thèse de doctorat, Université de Paris.
- FISCHER, A.G. (1964): The Lofer-cyclothems of the Alpine Triassic. - In: MERRIAM, D.F. (Ed.), Symp. on cyclic sedimentation, Kansas Geol.Surv.Bull., 169, 107-149, Topeka (Kansas).
- FOLK, R.L. & R. ASSERETO (1976): Comparative fabrics of length-slow and length-fast calcite and calcitized aragonite in a Holocene speleothem, Carlsbad Caverns, New Mexico. - Journ. Sed. Petrology, 46, 486-496, Tulsa.
- FOLK, R.L. & L.S. LAND (1975): Mg/Ca Ratio and Salinity: Two Controls over Crystallization of Dolomite. - Bull.Am.Assoc. Petrol.Geologists, 59, 60-68.
- FORNEY, G.G. (1975): Permo-Triassic sea level change. - J.Geol. 83, 773-779, Chicago.
- FRIEDMAN, G.M.; AMIEL, A.J. & N SCHNEIDERMAN (1974): Submarine cementation in reefs: example from the Red Sea. - J. Sediment. Petrol., 44, 816-825, Tulsa.
- FÜCHTBAUER, H. (1974b): Zur Diagenese fluviatiler Sandsteine. - Geol.Rdsch. 63, 904-925, Stuttgart.
- FÜCHTBAUER, H. & G. MÜLLER (1970): Sedimente und Sedimentgesteine. - Sediment-Petrologie 2, 3. Aufl., 784 S., Schweizerbart, Stuttgart.
- GAETANI, M. & POLIANI, G. (1978): Il Toarciano e il Giurassico medio in Albenza (Bergamo). - Riv.Ital.Paleont., 84, 2, 349-382, Mailand.
- GANSS, O. (1975): Stratigraphie und Tektonik der Nördlichen Kalkalpen zwischen München-St. Johann/Tirol und Berchtesgadener Alpen. - Exkursionsführer, Exk. N 3, 127. Jahrestagung der Deutschen Geol.Ges. in München.
- GERMANN, K. (1966): Ablauf und Ausmaß diagenetischer Veränderungen im Wettersteinkalk (alpine Mitteltrias). - Diss., Naturwiss. Fak. Univ. München, 122 S.
- GRIMM, W.-D. (1964): Ausfällung von Kieselsäure in salinar beeinflussten Sedimenten. - Z.dt.geol.Ges. 114, 590-619, Hannover.
- HALLAM, A. (1977): Eustatic cycles in the Jurassic. - Palaeoclim., Palaeoecol., Palaeogeogr. 23, 1-32, Amsterdam.
- HARSCH, W. (1970): Zur Sedimentologie und Paläogeographie der Raibler Schichten (Ober-Trias) im Westteil der Nördlichen Kalkalpen. - Z.dt.geol.Ges., 121, 253-272, Hannover.
- HERAK, M. (1974): Paläogeographie und Fazies-Entwicklung während der Trias in den Dinariden Kroatiens. - In: H. ZAPFE (Ed.), Die Stratigraphie der alpin-mediterranen Trias, Schriftenr. Erdwiss.Komm.Österr.Akad.Wiss. 2, 101-106, Wien.
- HERZ, N. & H. SAVU (1974): Plate tectonic history of Romania. - Geol.Soc.Amer.Bull., 85, 1429-1440, Boulder.
- JACOBSHAGEN, V. (1965): Die Allgäu-Schichten (Jura-Fleckenmergel) zwischen Wettersteingebirge und Rhein. - Jb.Geol.B.-A., 108, 1-114, Wien.
- JAMES, N.P.; GINSBURG, R.N.; MARSZALEK, D.S. & W.P. CHOQUETTE (1976): Facies and fabric specificity of early subsea cements in shallow Belize (British Honduras) reefs. - J.Sed.Petrol. 46, 3, 523-544, Tulsa.

- JERZ, H. (1966): Untersuchungen über Stoffbestand, Bildungsbedingungen und Paläogeographie der Raibler Schichten zwischen Lech und Inn (Nördliche Kalkalpen). - *Geologica Bavarica*, 56, 3-102, München.
- KENDALL, A.C. & M.E. TUCKER (1973): Radial fibrous calcite: as a replacement after acicular carbonate. - *Sedimentology*, 20, 365-389, Amsterdam.
- KOCKEL, C.W.; RICHTER, M. & H.-G. STEINMANN (1931): Geologie der Bayerischen Berge zwischen Lech und Loisach. - *Wiss. Veröff.d.D. und Oe. Alpenvereins*, 10, 231 S., Innsbruck.
- LEUCHS, K. (1948): Orogenesen im Kalkalpengebiet in Trias-, Jura- und Kreidezeit. - *Sber.Ak.Wiss.Wien., m.-n.Kl., Abt. I*, 157, 39-53, Wien.
- LEUCHS, K. & R. MOSEBACH (1936): Die spätladinische Hebung. - *Cbl.Mineralog.*, B, Jg. 1936, 1-12, Stuttgart.
- LONG, D.T. & E.E. ANGINO (1977): Chemical specification of Cd, Cu, Pb and Zn in mixed freshwater, seawater and brines solutions. - *Geoch.Cosmoch.Acta* 41, 9, Oxford.
- LUCIA, F.J. (1972): Recognition of evaporite-carbonate shoreline sedimentation. - *Soc.Econ.Paleont.Mineral., Spec.Publ.* 16, Recognition of ancient sedimentary environments, 160-191, Tulsa.
- MARCOUX, J. (1970): Age carnien de termes effusifs du cortège ophiolitique des nappes d'Antalya (Taurus Lycien oriental, Turquie). - *C.R. Acad.Sci., Sér. D*, 271, 285-287, Paris.
- MOSTLER, H. (1965): Bemerkungen zur Genese der sedimentären Blei-Zinkvererzung im südalpinen Perm. - *Archiv f. Lagerstättenforschung in den Ostalpen*, Bd. 3, 55-70, Leoben.
- MÜLLER-JUNGBLUTH, W.-U. (1970): Sedimentologische Untersuchungen des Hauptdolomites der östlichen Lechtaler Alpen, Tirol. - *Beitr. Mikrofazies u. Stratigraphie Tirol-Vorarlberg (Festbd. Geol.Inst., 300-Jahr-Feier Univ.Innsbruck)*, 255-308, Innsbruck.
- ROBERTSON, A.H.F. (1978): The sedimentary Evolution of the Troodos Ocean: an excursion guide to the sedimentary geology of Southern Cyprus. - *Exkursionsführer, Teil III (Türkei und Zypern)*, 10. Int. Sedimentologenkongreß in Jerusalem.
- ROSSI, P.L.; VIEL, G. & G. SIMBOLI (1976): Significato paleogeografico e magmatico-tettonico della serie vulcanica vulcano-clastica Ladinica superiore nell'area del Monte Civetta. - *Boll.Soc.Geol.It.* 95, 433-458, Rom.
- SARNTHEIN, M. (1967): Versuch einer Rekonstruktion der mitteltriadischen Paläogeographie um Innsbruck, Österreich. - *Geol. Rdsch.* 56, 116-127, Stuttgart.
- SIEVER, R. (1962): Silica solubility, 0°-200°C, and the diagenesis of siliceous sediments. - *J.Geol.* 70, 127-150, Chicago.
- STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1960): Die Geologie der Umgebung von Lech (Vorarlberg). - *Diss. Univ. Marburg*.
- SCHLAGER, W. & W. SCHÖLLNBERGER (1974): Das Prinzip stratigraphischer Wenden in der Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen. - *Mitt.Geol.Ges.Wien*, 66/67, 165-198, Wien.
- SCHMIDEGG, O. (1928): Über geregelte Wachstumsgefüge. - *Jb. Geol.B.-A.*, 78, 1-52, Wien.

- SCHNEIDER, H.-J. (1964): Facies differentiation and controlling factors for the depositional lead-zinc concentration in the Ladinian geosyncline of the Eastern Alps. - *Develop.Sedimentol.*, 2, 29-45, Amsterdam.
- SCHNEIDER, H.-J.; MÖLLER, P.; PAREKH, P.P. & E. ZIMMER (1977): Fluorine contents of carbonate sequences and rare earths distribution in fluorites of Pb-Zn deposits in East-Alpine Mid-Triassic. - *Mineralium Deposita*, 12, 22-36, Berlin.
- SCHNEIDER, H.J. & F. WALDVOGEL (1964): Sedimentäre Eisenerze und Faziesdifferenzierung im oberen Wettersteinkalk. - In: ZACHER, W.: Erläuterungen zur Geol. Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 8430, Füssen.
- SCHNEIDER, W. (1977): Diagenese devonischer Karbonatkomplexe Mitteleuropas. - *Geol.Jb.*, D 21, 3-107, Hannover.
- SCHOLLE, P.A. & D.J.J. KINSMAN (1974): Aragonitic and High-Mg Calcite caliche from the Persian Gulf - a modern analog for the Permian of Texas and New Mexico. - *J.Sed.Petrol.* 44, 3, 904-916, Tulsa.
- SCHULZ, O. (1970): Vergleichende petrographische Untersuchungen an karnischen Sedimenten der Julischen Alpen, Gailtaler Alpen und des Karwendels. - *Verh.Geol.B.-A.*, Jg. 1970, H. 2, 165-229, Wien.
- SCHULZ, O. (1975): Resedimentbreccien und ihre möglichen Zusammenhänge mit Zn-Pb-Konzentrationen in mitteltriadischen Sedimenten der Gailtaler Alpen (Kärnten). - *TMPM*, 22, 130-157, Wien.
- THRAILKILL, J. (1976): Speleothems: In: WALTER, M.R. (Ed.), *Stromatolites (Developments in Sedimentology 20)*, 13-86, Elsevier, Amsterdam.
- TOLLMANN, A. (1966): Die alpidischen Gebirgsbildungs-Phasen in den Ostalpen und Westkarpaten. - *Geotekton. Forschg.*, 21, 156 S., Stuttgart.
- TOLLMANN, A. (1978): Plattentektonische Fragen in den Ostalpen und der plattentektonische Mechanismus des mediterranen Orogens. - *Mitt.Österr.Geol.Ges.* 69 (1976), 291-351, Wien.
- WETZENSTEIN, W. (1972): Die Mineralparagenesen der Pb-Zn-Erzlagerstätte St. Veit (Heiterwand, östliche Lechtaler Alpen, Tirol). - *Verh.Geol.B.-A.*, Jg. 1972, H. 2, 288-298, Wien.
- WOLFF, H. (1973): Faziesgliederung und Paläogeographie des Ladins in den Bayerischen Kalkalpen zwischen Wendelstein und Kampenwand. - *N.Jb.Geol.Paläont.Abh.* 143, 246-274, Stuttgart.