

# Sedimentpetrographische Untersuchungen kalkalpiner Gesteine.

Hallstätterkalke von Hallstatt und Ischl.

Von W. Schwarzacher, Innsbruck.

Mit 15 Textabbildungen.

## Zusammenfassung.

Einige norische Hallstätter Gesteine (Plassengruppe und Siriuskogel bei Ischl) wurden nach den von B. Sander eingeführten Methoden vom sedimentpetrographischen Gesichtspunkt untersucht.

Es wurde eine geschichtete und ungeschichtete Fazies gefunden. Im Speziellen konnte nachgewiesen werden, daß die Kalke des Sommeraukogels ein feingeschichtetes Sediment darstellen, das fast ausschließlich aus Monotischalen besteht.

In den geschichteten Kalken wurden Feinrhythmen (Größenordnung 1 mm) und ein sehr regelmäßiger Grobrhythmus von 8-3 cm Mächtigkeit aufgefunden. Es konnte nachgewiesen werden, daß die untersuchten Kalke eine andere Rhythmik besitzen als die Dachsteinkalke, mit anderen Worten, daß der „Diktator“ (Sander, 28) bei ihnen ein anderer ist.

Für die ungeschichteten Kalke wird gezeigt, daß frühe (paradiagenetische) Bewegungen im Sediment die Ausbildung der Schichtung verhinderten.

Auch wird gezeigt, daß Mehrfachsedimentation in ein und demselben geologischen Zeitraum oft vorkommt.

Fossilinsen kann man zwanglos als Füllungen von Klüften in noch halbverfestigtem Gestein erklären.

Für die Bildungstiefe der Hallstätter Kalke ergeben sich einige Hinweise; sie wird für die ungeschichteten Kalke etwa mit 50 bis maximal 200 m angenommen.

## Einleitung.

Die vorliegende Arbeit wurde am Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Innsbruck, mit Mitteln des Institutes ausgeführt. Zur Befassung mit Sedimenten führte zunächst die Fülle der Probleme (besonders Rhythmik) und vor allem Sander's Arbeit über Anlagerungsgefüge (Sander 28). Aus dieser Arbeit ergab sich auch die Anregung zur Beschäftigung mit roten Hallstätterkalken. Einerseits legte das rhythmische Auftreten von Rotschlammen im Raume des Dachsteinkalkes eine Untersuchung der Hallstätterkalke nahe. Andererseits ist die wichtige Stellung der Hallstätterkalke in der Tektonik bekannt. Auch ihre fazielle Sonderstellung wurde schon oft beschrieben. Auffällig ist der Gegensatz zu den Dachsteinkalk-Haupt-

dolomitgesteinen. Dieser Gegensatz wird bei Hallstatt besonders deutlich. Die Mächtigkeit des Dachsteinkalkes im Echerntal beträgt 1400 m, die entsprechende des Sommeraukogels 350 m. Die beiden Mächtigkeiten verhalten sich demnach wie 1:4. Die Horizontalentfernung zwischen den beiden Aufschlüssen beträgt nur 200 m (Spengler 35).

Trotz der geringen Mächtigkeit sind die Hallstätterkalke reich gegliedert nicht nur durch das Auftreten von Versteinerungen, sondern auch in Farbe, Gesteinsbeschaffenheit und Schichtung. Es soll versucht werden, einige Hallstättergesteine zu kennzeichnen und wenn möglich den Bildungsraum zu charakterisieren. Ich habe mich dabei auf norische Hallstätterkalke beschränkt. Es wurden sowohl Feld- als auch An- und Dünnschliffuntersuchungen durchgeführt, dazu wurden Gesteinsproben orientiert dem Anstehenden entnommen. Im Ganzen wurden 145 Handstücke und 75 Dünnschliffe bearbeitet.

Ganz allgemein sollte gezeigt werden, daß auch bei Nurkalkgesteinen eine sedimentpetrographische Beschreibung zu etwas führt und daß auch hier bei Beachtung des Gefüges eine Gliederung erreicht werden kann. So wurde versucht im Anschluß an früheres Schrifttum, zum Beispiel Leuchs (20, 21), Sander (26, 28, 29), Fiege (9) und nach meiner auch zeitbedingt lückenhaften Kenntnis des amerikanischen Schrifttums Bradley (3), Bramlette (4), Goldmann (10), Twenhofel (38, 39) auch einen Beitrag zu liefern.

Zu größtem Dank bin ich meinem verehrten Lehrer Prof. B. Sander verpflichtet, der mir nicht nur die Richtung wies, sondern mich auch durch ständige Anregungen auf Neues führte. Anregungsreich war auch die Zusammenarbeit mit meinem Freund und Kollegen R. Wejschenk, der gleichorientiert, die Sedimentpetrographie der Sonnwendjochbreccie bearbeitete.

Indirekten Dank schulde ich aber auch allen Aufnahmsgeologen dieses Gebietes, Mojsisovics, und vor allem E. Spengler, dessen schöne Dachsteinkarte (Alpenvereinskarte 1:25.000) die Arbeit erst ermöglichte.

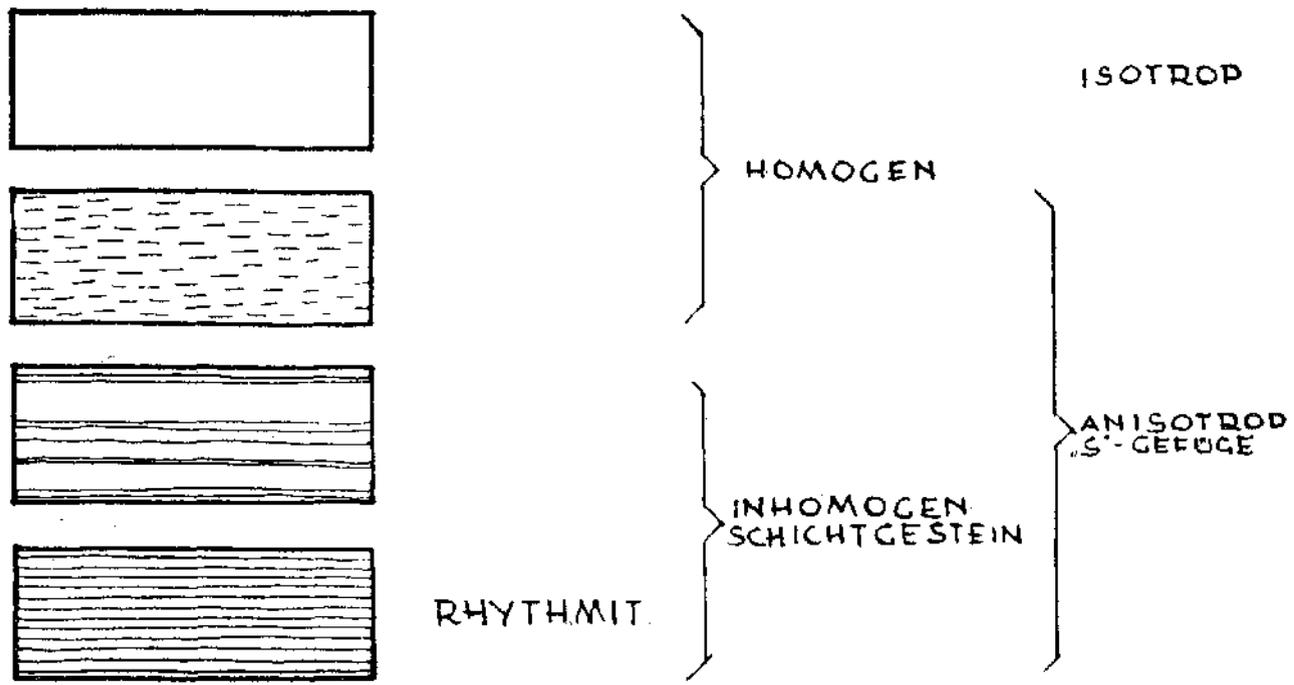
### Definitionen.

Zum besseren Verständnis der Arbeit werden die bei Sander (27, 28) entwickelten Begriffe und einige neue kurz zusammengefaßt.

Das Gefüge der Gesteine, das sind Raumdaten verschiedener Bereiche jeder Größenordnung, ist dasjenige, das zunächst deskriptiv festgehalten werden soll. Primäres Gefüge sind die Raumdaten der ersten Anlage, im Sinne der Primärschichtung von Brinkmann (5), Sander (28), im gleichen Sinn wie primary structures von Stoces (36) und primary features Billings (2) des englischen Schrifttums.

Sander gibt eine Übersicht der primären Parallelgefüge der Sedimentgesteine, sie ist in Abb. 1 zusammengefaßt.

Die Ausdrücke isotrope und anisotrope, homogene und inhomogene Gefüge sind viel weitere Begriffe und beziehen sich hier nur auf den eben betrachteten Sonderfall der sedimentären Parallelgefüge. Von den vier Typen in Abb. 1 hebt sich zunächst der erste durch ein Fehlen einer bevorzugten Richtung deutlich ab, die drei letzten zeichnen sich durch die vorgezeichnete Richtung „s. aus. In der Gefügekunde werden Parallelfächen ganz allgemein s-Flächen genannt (Sander, 27, S. 99). Da Verwechslungen ausgeschlossen sind, werden hier unter s-Flächen immer sedimentäre Anlagerungsflächen verstanden. Von den s-Gefügen heben sich die zwei letzten Typen durch das Auftreten paralleler Inhomogenitätsflächen (in definierten Bereichen) hervor,



RHYTHMIT.

ABB. 1

diese und nur diese Gesteine kann man als geschichtete Gesteine bezeichnen. Es ist daher erfreulich, wenn Salomon (25) bei Auftreten von sedimentärer Regelung nach flächenhafter Gestalt, nicht von primärer Schichtung, spricht. Der Vorgang der Anlagerungsregelung (Primärschieferung bei Salomon, 25) hat sowohl begrifflich, wie auch genetisch mit Schichtung nichts zu tun.

Es hat sich das Bedürfnis ergeben, alle Schichtgesteine mit einem kurzen Namen zusammenzufassen. Ich bezeichne geschichtete Gesteine als stratufierte Gesteine oder Straturite (von lat. stratura) und spreche ebenso von Astraturiten für ungeschichtete Gesteine mit oder ohne s-Gefüge.

Es wäre in diesem Sinn auch sehr erwünscht, wenn die Bezeichnung Riffkalk bei der Beschreibung von Gesteinen zunächst vermieden würde, denn diese sagt genetisches aus, und zwar etwas, das nur nach sehr eingehender Untersuchung und dann nur im speziellen Fall behauptet werden kann. Auch das Auftreten von vereinzelt riffbildenden Fossilien (zum Beispiel Korallen) scheint mir nicht immer ausreichend. Richtige Riffkalke sind zum Beispiel die von Sander (28) beschriebenen, stellenweise nachweisbar biogen angelagerten Rhythmite des Dachsteinkalkes. Vollkommen falsch wäre es nur, das Fehlen von Schichtung für ein Zeichen von Riffbildung zu halten. Ich benütze daher auch hier fürs erste den Ausdruck Astraturit für ungeschichtetes Gestein.

Unter allgemeinem s verstehe ich das statistische Mittel von mehreren untereinander verstellten s-Flächen über größere Bereiche. Liegen einzelne s über größere Bereiche parallel, so ist dieses s das allgemeine s. Das allgemeine s ist also eine sehr geeignete Bezugsfläche für alle Relativbewegungen kleiner Teilbereiche. Ob das allgemeine s zu seiner Bildungszeit gegen die Niveaufläche des Erdschwerfeldes, also gegen den horizontalen Wasserspiegel, verkippt lag, läßt sich mit Hilfe von geopetalen Gefügen kontrollieren. Sander (28) definiert, Geopetalgefüge (gpt. Gef.) sind Gefüge, die eindeutig, unabhängig von der heutigen Lage des Oben und Unten während der Bildungszeit erkennen lassen. Das wichtigste Geopetalgefüge ist das Hohlraum- oder Höhlensediment. In einer kleinen Höhle, oder auch in einem leeren Fossilgehäuse, setzt sich ein Sediment ab, der Hohlraum, ursprünglich von Wasser erfüllt, bekommt in seinem unteren Teil einen Schlammbeleg, das s dieses Bodenbelages wird bei ungestörter Sedimentation mit der Niveaufläche des Schwerfeldes zusammenfallen.

Neben den angeführten gpt. Gef. sind polare Gefüge häufig (so wie bei Sander, 28, S. 100). In meinem Material fanden sich eine Reihe von polaren Gefügen, die, nachdem sie einmal an einem richtigen gpt. Gef. gewissermaßen geeicht wurden, auch oben und unten ablesen lassen, deren Bildung aber nicht so leicht durchschaubar ist, daß man oben und unten aus ihnen selbst eindeutig ablesen könnte. Diese Gefüge sollen, um den Wert der gpt. Gef. nicht zu beeinträchtigen, obwohl sie sich wie gpt. Gef. handhaben lassen, auch nur polare Gefüge heißen.

Für den Sedimentpetrographen sind also von steigendem Wert: s-Gefüge, polare Gefüge und gpt. Gefüge. Alle sind Abbildung der sedimentierenden Kraft (meist Schwerkraft).

Belteropore Gefüge nach Sander (27) sind Gefüge nach Wegsamkeit. Zum Beispiel Kalzit dringt längs Klüften belteropor vor.

## I. Die Beschreibung der Gesteine.

### 1. Die Monotiskalke am Steinbergkogel.

Spengler (34) beschreibt das Profil des Steinbergkogels. Die ober-norischen Hallstätterkalke des Steinbergkogels dürften das Hangende des Sommeraukogels darstellen. Das Gestein geht gegen oben durch Stärkerwerden der Mergellagen in den Schichtfugen in Zlambachschichten über. An der Nordseite finden sich auch hellrote Bänke, stellenweise ganz erfüllt mit Monotis. In den Aufschlüssen NE und E

Steinbergkogel ist ungeschichteter Kalk das Liegende. Die zirka 30 m hohe Wand, die den Felszack zu Beginn des Grabens „zwischen den Kögeln“ bildet, besteht aus ihm. Es ist ein weißer, nur stellenweise roter Astraturit, in dem ich eine Monotislense finden konnte. Das Hangende, zirka 5—10 m, ist ein roter, gut stratifizierter, in 10—20 cm-Rhythmen geteilter Kalk, der Monotiskalk, ein Sediment, das ganz aus den Schalen dieser Muschel besteht. Die Grenze gegen den liegenden Astraturit ist nicht scharf und schwer feststellbar, weil gerade hier die Umwandlung der Muscheln besonders stark ist. Die Blöcke oberhalb der E-Wand bis P 1173 (Alpenvereinskarte) und der in einzelne Türme gegliederte N-Hang ist, wo Schichtung zu sehen, durchwegs Monotiskalk. Am N-Hang liegt eine zirka 1 m mächtige Bank, die ganz aus kleinen Muscheln (Halobia?) besteht. Der Monotiskalk dürfte im Maximum 20 m mächtig sein und bedeckt hier ein Areal von mindestens 100—200 m<sup>2</sup>. Der hellgraue Kalk des Steinbergkogels liegt darüber. Wie meine Präparate zeigen, ist auch dort, wo makroskopisch keine Schalen mehr erkennbar sind, im An- und Dünnschliff zu sehen, daß alles von Schalen oder Produkten, die durch Umkristallisation aus ihnen entstehen, erfüllt ist, ja, daß das ganze Gestein aus ihnen besteht. Pelite bilden einen verschwindenden Anteil.

### Steinbergkogel E.

Rölliges Gestein rhythmisch weiß gebändert, zum Beispiel gemessen in Zentimetern 4, 5, 10, 4, durchschnittlich 5—10, aber ziemlich unregelmäßig. Im Bruch senkrecht s flaseriges Aussehen ganz mit Feinschichtung erfüllt. Die Zentimeter-Rhythmik ist schon an den Wänden zu sehen. Die Fugen sind fast immer feucht, leer, oder von einem nicht näher erfaßbaren Tonfilm gefüllt. Wahrscheinlich bewirkt stärkere Pelitzufuhr die Fugen zwischen den Monotisbänken. Das Gestein bricht immer so, daß sich keine zusammenhängenden Stücke gewinnen lassen. An anderen Stellen kommt es nicht zur Fugenbildung, das Gestein ist rot-weiß aufeinanderfolgend gebändert, gemessen in Millimetern 15 w, 20 r, 15 w, 45 r, 40 w, 10 r, 10 w, 10 r, 30 w, 10 r, 20 w, 15 r, ziemlich gut rhythmisch. Die weißen Bänken treten gegenüber den roten bei Anwitterung vorspringend heraus, sie lassen sich im Streichen über Meterbereiche verfolgen, sind also richtige Schichtbänke.

Im Anschliff wird diese Bänderung gut sichtbar, es zeigt sich, daß kleine Bereiche deutlich einem periodischen Gesetz gehorchen (so daß gleichmächtige Rote mit gleichmächtigen Weißen wechseln), an anderen Stellen aber ist die Abfolge ganz ohne gesetzmäßigen Wechsel, manchmal aber so, daß auf eine weiße Bank, durch Roteinlage getrennt, eine dünnere weiße folgt, die nächste ist noch dünner, das heißt der Wechsel erfolgt räumlich immer rascher, und klingt innerhalb weniger Zentimeter ganz ab. Diese Rhythmik wird besonders im UV-Licht deutlich, wo die weißen Partien hellblau fluoreszieren (einige Sekunden nachleuchtend), während die roten tief schwarz bleiben. Auch durch Färben mit Methylenblau nach Anätzen kann die Rhythmik deutlich gemacht werden.

Die weißen Streifen von Zentimeterausmaß haben sich als reine Monotis- (?) Muschelbänkchen erwiesen. Sie waren zunächst weder makroskopisch, noch im An- und Dünnschliff als solche erkennbar. Erst als Stellen gefunden wurden, wo die Skulptur der Schale im Bruch parallel s noch undeutlich erkennbar war, und dann auch durch Vergleich mit Dünnschliffen von besser erhaltenen Schalen, konnten sie eindeutig wiedererkannt werden.

Zu dieser anfänglichen Täuschung trug folgender Umstand bei: Die Schalen sind so gut in s eingeregelt, daß eine neben der anderen liegt und im Dünnschliff schwer oder gar nicht zu sehen ist, wo die eine anfängt und die andere aufhört. So folgt eine Lage über der anderen. Ein schräges Übereinanderschichten kommt nicht vor, dazu kommt

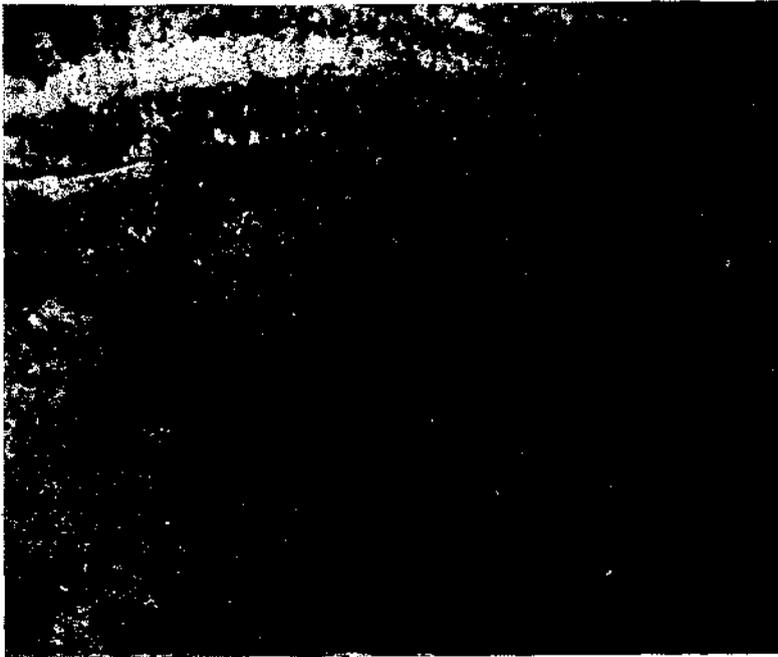


Abb. 2.

Vergr. ca. 30fach. Monotisschalen auf beiden Seiten mit Kalzitrasen bewachsen.  
Aus einer Linse.

noch, daß die einzelnen Lagen gemeinsam gekräuselt sind und so ganz eine gekräuselte Pelitfeinschichtung vortäuschen. Die Schalen-  
skulptur sowie die ursprüngliche Biegung sind ganz verschwunden  
(siehe Abb. 3).

Im Anschliff lassen sich die Schälchen nicht weiter auflösen, sie erscheinen als feine, milchig weiße Striche und dazwischen liegt eine klare kristalline Füllung. Bei der Dünnschliffuntersuchung wurde zum Teil stärkste Vergrößerung (1000fach, Immersion) verwendet. Die Schalen der rezenten Lamellibranchen sind bekanntlich aus zwei Schichten aufgebaut. Die innere, die Perlmutter-schicht, besteht aus Aragonitblättchen, die in der Schalen-  
ebene liegen, die äußere, die Faserschicht, besteht aus Kalzitfasern, die senkrecht zur Schalen-  
ebene stehen. Die Schalen sind also in bezug Schalen-  
ebene als Symmetrie-  
ebene unsymmetrisch gebaut. Die umgewandelte Monotisschale ist meist symmetrisch (Abb. 2), in manchen Fällen aber, wie gezeigt werden wird, auch unsymmetrisch. In der Regel besteht die umgewandelte Schale

aus drei Schichten. In der Mitte eine äußerst feine  $3\mu$ , aber auch  $20\mu$  dicke Schicht mit feinen Fugen parallel s. Viel läßt sich über diese Mittelschicht wegen ihrer Dünne nicht sagen, an manchen Stellen löschen parallel e eingelagerte Blättchen gerade mit s aus, im allgemeinen löscht die Schicht (unter gekreuzten Nicols) überhaupt nicht aus. Sie ist im Durchlicht durchscheinend, im Auflicht milchig weiß. Bezeichnend ist weiter ihre größere Festigkeit, wo Schälchen knicken, halten sie oft, trotz ihrer Dünne, an der Mittelschicht zusammen.

Nach unten und oben wachsen zur Mittelschicht symmetrisch Kalzitfasern senkrecht auf sie. Die stärkere Lichtbrechung liegt parallel s, c also in Ebene senkrecht s. Das ist gewöhnliches Kalzitrasengefüge (Schmidegg, 31). Die Fasern sind  $10-15\mu$  breit und durchschnittlich  $30\mu$  lang. Oft kommen Fälle vor, wo oben oder unten der Rasen aus zwei Generationen besteht, also Nichtsymmetrie zur Mittelschicht. Die erste Generation besteht dann aus kleinen,  $25\mu$  langen, ungleichgroßen, aber besser geregelten Kristallen (vielleicht durch Umkristallisation aus der ursprünglichen Faserschicht entstanden), darauf folgt dann die zweite Generation, die der gleicht, die nach der anderen Seite wächst.

Es geht also aus den symmetrischen Fällen, verglichen mit der Nichtsymmetrie rezenter Schalen hervor, daß die Rasen nicht mit der ursprünglichen Faserschicht identisch sein können, daß die Rasen auf der einen oder anderen Seite durch Umkristallisation aus der Faserschicht hervorgingen, oder noch wahrscheinlicher, die Faserschicht wurde vor der neuen Inkrustierung weggekost und dann erst der Rasen angelagert. Sicher ist Stoff zugeführt worden, denn die Schalen sind dicker als sie je ursprünglich waren, die Unsymmetrie kann daher auf verschiedene Stoffzufuhr zurückgehen; dies ist sogar sehr wahrscheinlich bei Schälchen, die auf Pelit liegen, wo es oft vorkommt, daß die Rasen nur nach oben ausgebildet sind, nicht gegen den Pelit. Bei Schalen, die ganz in Pelit schwimmen, fehlen die Rasen oft ganz.

Die Mittelschicht der umgewandelten Schalen dürfte wohl die ursprüngliche innere Schicht gewesen sein. Es ist das im allgemeinen die Schicht, welche bei Fossilien die wenig erhaltungsfähige ist, weil sie meist aus Aragonit besteht, dieser kristallisiert aber leicht in Kalzit um und wird dann erhaltungsfähig. Dies dürfte auch hier der Fall gewesen sein. Färbeversuche mit Kobaltnitratlösung zeigen, daß im ganzen Material kein Aragonit vorkommt. Bei Stücken, an denen die Schalenplastik noch zu sehen ist, bricht diese immer an der Mittelschicht aus dem Gestein.

In den im Anschliff weißen Bänken liegen die so umgewandelten Schalen aufeinander, ohne auch nur eine Spur von Pelit dazwischen. Die Kalzitfasern der liegenden Schale stoßen mit den Fasern der hangenden Schale in einer Suture zusammen, ähnlich wie bei Kalzitfüllungen von Höhlen. Es gelingt nur selten das Ende einer Schale im Schliff zu sehen. Aber es scheint eine Neigung vorhanden zu sein, daß sich besonders dicht übereinander liegende Schalenpakete seitlich von eben solchen ablösen lassen. Vielleicht ist das die Abbildung einer ganz geringen Strömung während des Sedimentationsaktes.

Fast überall ist eine stellenweise sehr gut ausgeprägte Rhythmik innerhalb der Monotisbank zu sehen. Die Schälchen erscheinen im Schliff zu einzelnen Lagen ziemlich gleichbleibender Mächtigkeit zusammengefaßt. Das heißt in gleichen Raumabständen, und daher (siehe später) auch gleichen Zeitabständen, tritt eine Änderung der Sedimentation ein. Es gelangt eine ganz feine Schicht rötlicher Pelit mit eingestreuten Dolomitmikrokörnern (Korndurchmesser  $0.01\text{ mm}$ ) und seltener auch  $\text{SiO}_2$ -Körner gleicher Größe, zum Absatz.

Diese Rhythmik ist die regelmäßigste im ganzen Hallstätterkalk, sie gehorcht offensichtlich einem periodischen Gesetz. Es wurden die Mächtigkeiten der einzelnen Lagen in einem Großschliff über  $4\text{ cm}$

und in anderen Schliffen gemessen. 55 Messungen, Mittel: 0.2 mm, mittlere Abweichung 0.03 mm, das ist 19% vom Mittel. Man sieht also, die Rhythmik dieser Feinschichtung ist ziemlich konstant.

An dieser Stelle sei folgendes erwähnt. Setzt man 1400 m, die Mächtigkeit des Dachsteinkalkes zeitlich den 350 m des Hallstätterkalkes gleich, so ist das Verhältnis der beiden Mächtigkeiten 1:4, das heißt den Millimeter-Rhythmen im Dachsteinkalk müssen im Hallstätterkalk 0.25 mm-Rhythmen entsprechen. Man sieht, daß eben unter der vorhergehenden Annahme der beschriebene Rhythmus wenigstens größenordnungsmäßig dem Millimeter-Rhythmus des Dachsteinkalkes verglichen werden kann. Ich möchte diesen kleinsten Rhythmus auch als Jahresrhythmus deuten (wie Sander, 28, für den Dachsteinkalk).

Überlagert liegt die im Anschliff auffällige Rot-Weiß-Rhythmik höherer Ordnung, sie wird durch rhythmisch stärker werdende Einlagerung von rotem Pelit bewirkt. Dabei genügt eine ganz kleine Menge; 7% (Flächenprozent) Pelit erscheinen im Anschliff schon als rotes Gestein. 12% ist der Durchschnitt aus drei Messungen. Ganz selten sind millimeterdicke Lagen reinen Pelites mit nur wenig Schälchen. Die Pelitlagen sind gegenüber den Monotislagen viel stärker durchbewegt, daher ist nicht mehr viel von ihrem ursprünglichen Gefüge zu sehen. An ruhigeren Stellen (an den Schälchen kontrollierbar) kann man manchmal gpt. Gef. vermuten. In den roten Kalkpeliten (Korngr.: 0.01 mm) sind als klastische Bestandteile eckige Dolomitmörner (0.01 und kleiner als 0.01 mm) eingestreut, diese liegen oft polar auf der unteren, begrenzenden Muschelbank. Jedoch ist dieses gpt. Gef. nicht sehr klar, wie überhaupt eindeutige gpt. Gef., zum Beispiel Hohtraumsedimente im ganzen Bereich der Monotisbank fehlen. Eben weil es nirgends zur Ausbildung von Hohlräumen gekommen ist. Reine Monotislagen können so umgewandelt sein, daß auch im Anschliff nichts mehr von den Schalen zu erkennen ist. Im Dünnschliff sieht man, daß die Schalen so gut übereinander liegen, so daß die geregelten Kristalle alle gleichgerichtet liegen und gemeinsam auslöschen. Im nächsten Schritt sind die Gebilde umkristallisiert, große Einkristalle (0.1–0.3 mm) überlagern den ganzen Schliff, die Schalen sind nur mehr andeutungsweise zu sehen, das Fasergefüge der Rasen ist verschwunden, es resultiert ein Marmor, der je nach vorhergehender Regelung der Schalen mehr oder weniger Regelung zeigt. Es kommt nicht vor, daß Kristalle, solange man noch Umrisse von Schalen sieht, diese mit zu diesen schiefen Auslöschrichtungen umschließen.

In Schliff 77 liegen an einigen Stellen Aggregate (0.15 mm), feinsten Kalzitkristalle, die nicht mehr auslöschen, in einem anderen Schliff fand sich unterhalb einer Schale ein Kalzitsphärokristall. Dolomitisierung wurde in allen Schliffen mit Lembergfarbung geprüft. Es handelt sich durchwegs um verhältnismäßig sehr reine Kalke. Dolomit als klastischer Bestandteil kommt zwar überall mit rotem Pelit vor, allerdings prozentmäßig als geringer Bruchteil, es liegen feine eckige Dolomitmörner mechanisch extern angelagert. Ferner kommt in einem Stück tektonischer Breccienbildung eine

Kalkkomponente mit Dolomitschälchendetritus als vereinzelter Fall vor. Es fanden sich zwei Fälle von Breccienbildung mit grobspatigem Dolomit verkittet, das ist der größte Dolomitbereich überhaupt, Ausmaß einige Zentimeter. An dem zweiten Klufnetz der Breccien (siehe später) liegen kleine, scharf umgrenzte Dolomitrhomboederchen. Dolomit kommt nie metasomatisierend vor.

#### Durchbewegung des ursprünglichen Gefüges.

Kräuselung, das ist sowohl Feinfältelung als auch Warzenbildung, kommt fast in allen Handstücken mit Monotisfeinschichtung vor. Ihre Symmetrie wurde in parallel  $s$  und senkrecht  $s$  Anschliffen untersucht. Es lassen sich (so wie in Lofer; Sander, 28) zwei Typen unterscheiden. Häufiger ist Wirtelsymmetrie, diese Gebilde besitzen keine bevorzugte  $b$ -Achse, sind also keine Falten, ich nenne sie Warzen.



Abb. 3.

Vergr. ca. 30fach. Gekräuselte Monotisfeinschichtung im Schliff senkrecht „ $s$ “.  
Die Feinrhythmen 0,2 mm sind gut zu sehen.

Seltener sind vor allem an Rändern von Breccien, Verkrümmungen mit bevorzugter Richtung  $b$ , rhombische und monokline Falten. Das Zusammengehen von Fältelung mit Breccie, und das Vorhandensein von Warzen in den Komponenten der Breccie, beweisen das höhere Alter der letzteren. Es zeigt sich, daß Warzenkräuselung überhaupt das erste ist. Sander (28) beschreibt auch kennbar früheste Kräuselung mit Externabtrag und Diskordanz der folgenden Feinschicht. Solche Formen fehlen in meinem Material.

Warzenkräuselung sieht im Schnitt senkrecht  $s$  wie Feingefälteltes aus, die einzelnen Monotislagen sind ziemlich regelmäßig gewellt, die durchschnittliche Kräuselperiode ist 2 mm (siehe Abb. 3).

Im Anschliff parallel  $s$  (Abb. 4) sieht man die Grundrisse der Kräuseldome, diese erscheinen aber nicht wie genaue Kreise, sondern sie beeinflussen sich gegenseitig aneinandergrenzend, so daß Bilder entstehen, die an Strukturböden oder Trockenrißsysteme erinnern. In diesen Schliffen sieht man auch, daß die Warzen meist sehr homogen über die Schichtfläche verteilt liegen. Bei weniger regelmäßiger Kräuselung kommt es auch vor, daß in kleineren Bereichen (ca.  $25 \text{ cm}^2$ ) die Warzenkräuselung in rhombische oder monokline Kräuselung übergeht, das heißt, die Kräuselung bekommt eine schwach ausgeprägte  $b$ -Achse. Die  $b$ -Achsen liegen aber über größere Bereiche nicht parallel, mißt man zum Beispiel die Achsen auf einer  $200 \text{ cm}^2$  großen Platte, so verschwindet diese Regelung ganz.

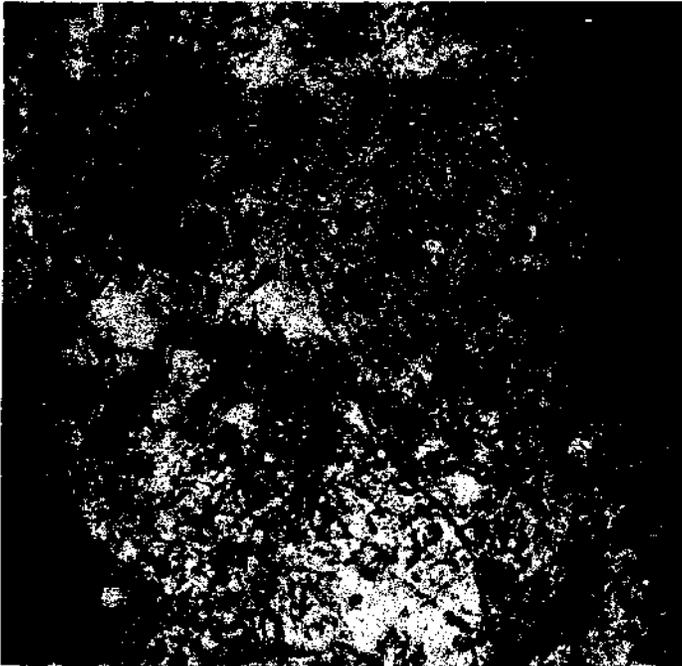


Abb. 4.

Vergr. ca. 5fach. Warzenkräuselung im Schliff parallel „ $s$ “.

Die Warzen werden vorwiegend durch konzentrische Verkrümmung der einzelnen Schälchenlagen gebildet, das heißt, die Lagen werden zu Kurven mit gleichem Krümmungsmittelpunkt gekrümmt. Parallelkräuselungen, also Kurven mit gleichem Krümmungsradius, sind viel seltener. Bei konzentrischer Kräuselung bleibt bekanntlich die Mächtigkeit der deformierten Schichten immer gleich, während es bei parallel gebogenen zu einer Ausdünnung der Schenkel kommt. Zeichnet man konzentrisch gekräuselte Kurven heraus, so zeigt sich, daß ein Zusammenhang zwischen Mächtigkeit und Kräuselperiode besteht. Gemessen in beliebigen Einheiten:

Mächtigkeit:	2	2	2	2	3	3	3	3.5	4	4.5	5
Periode:	1.5	2.5	2.5	3	2.5	3	5	5	4.5	4	6

Das ist richtige Regel der Stauchfaltengröße. Dabei wird das verschiedene Festigkeitsverhalten durch die verschiedenen Mächtigkeiten der aus unkontrollierbaren Gründen gemeinsam gekräuselten Schichten dargestellt. Die Krümmungsmittelpunkte der für sich gesondert gekräuselten Lagenpakete liegen oft genau übereinander, im ganzen Bereich (4 cm) verfolgbar. Um zu sagen, wie weit, war der Bereich zu klein. Aus dem Übereinanderliegen von Kräuseldomen darf kein Schluß auf gleichzeitige Deformation gezogen werden, schon Gekräuseltes kann vorzeichnend auf später Gekräuseltes wirken. An einigen Stellen wird die Amplitude viel größer (bis 3 cm), links und rechts schnell wieder abklingend, wahrscheinlich durch zufällige Störungen bedingt.

Wir legen die Wirtelachse in die  $c$ -Achse eines Koordinatensystems, so daß  $s$  in  $ab$  liegt. Die Vektoren der mechanischen Bildungskräfte zeigten dann naturgemäß auch Wirtelsymmetrie, und zwar in  $ab$  gelegene gleichwertige Vektoren und einen Vektor senkrecht  $s$  in  $c$ . Beide Kräfte traten auf, und zwar die einen als Resultante der anderen. Es läßt sich zunächst nicht unterscheiden, welches der beiden Vektorsysteme die Kräuselung erzeugte. Mit anderen Worten, waren es in  $c$  liegende Kräfte, also zum Beispiel die Schwerkraft (die Warzen wären dann eine Kompaktionserscheinung), oder waren es allseitige Schubkräfte in  $s$ , die eine Flächenverkleinerung erzielten.

Auffällig ist das Vorherrschen von konzentrischer Kräuselung. Wäre die Kräuselung durch Kompaktion entstanden, müßte man zumindest nach Schrägstellung der Muschellagen eine Zerschering der Lagen in hkl. oder Okl. h0l Flächen erwarten, daraus würde aber eine Parallelverkrümmung mit Ausdünnung der Schenkel resultieren.

In Schnitten senkrecht  $s$  sieht man oft, wie über einer ungestört flach liegenden Feinschicht die nächste Schicht zu einem steilen Spitzbogen zusammengeschoben ist. Ein Bewegungsbild, daß sich nur durch in  $s$  liegende Bewegungen erzielen läßt (wenn man nicht annimmt, daß die Ursache der bewegenden Kraft in dem kleinen Raum unterhalb des Kräuseldomes liegt). Oft kommt es auch vor, daß sich an einer gekräuselten Lage die nächste staut, und am Schenkel der ersten Lage aufgebogen wird, so daß „Kofferfallen“ (allerdings zweidimensional betrachtet) entstehen. Weiter kann man beobachten, daß Feinschichten durch größere parallel  $s$  liegende Fossilreste, gewissermaßen geschient sind, sie liegen dann längs der Schale ungestört, werden aber an beiden Enden der Schale um so höher aufgelaucht.

Gegen Kompaktion spricht auch die außerordentlich homogene Verteilung der Warzen. So erscheint es mir wahrscheinlicher, daß die Warzenkräuselung durch in  $s$  liegende mechanische Kräfte gebildet wurde. Dafür spricht vor allem auch das Auftreten der Stauchfaltenregel. Die in  $s$  liegenden Vektoren kann man sowohl durch allseitigen tektonischen Druck, wie auch durch Flächenvergrößerung der Platte in fester Umspannung, auch durch Schrumpfen der Unterlage usw. erhalten. Sander (28, S. 54) bespricht diese Möglichkeiten. Sie sind aber in ihrem Resultat völlig gleich, und eben wegen dieser Gleichwertigkeit konnte ich auch kein Kriterium für das eine oder andere finden.

In  $c$  liegende Vektoren könnten durch Oberflächennähe bedingt sein (Richtung des leichteren Ausweichens, Loferer Steinberge, Sander, 28). Die Kräuselung wird dann geopetal. Solche Formen kommen in meinem Material nicht vor. Die Höhe der Überlagerung hat von einem gewissen Mindestbetrag an keinen Einfluß mehr auf die Form der Falten. Ein öfter beobachteter Fall ist das Ausknicken einer Feinschicht nach beiden Seiten, also auch hier keine bevorzugte Richtung. Die Verbiegung geht an vielen Stellen in Bruch über, wo immer Scheitel brechen, brechen unbevorzugt Synklinale und Antiklinale.

Ein gleichmäßig gekräuselter Bereich  $40 \times 70$  mm (Dünnschliff) wurde 21fach vergrößert und so die Kräuselung studiert. Daraus wurde ein Bereich  $60 \times 30$  mm herausgegriffen und in diesem 3 cm hohen Profil (das entspricht nach dem oben gesagten etwa 150 Feinrhythmen) die durch die Kräuselung bedingte Verkürzung der Schichtchen mit einem Kurvenmesser gemessen. Die mittlere Verkürzung ist 0,89, beziehungsweise die Flächenverkleinerung 0,79 (Verkürzung = 12% von 97,5 cm auf 87 cm) aus 39 Messungen auf 87 cm). Die Verkürzung schwankt in diesem 3 cm hohen Profil beträchtlich bis 25%. Um eine eventuelle Gesetzmäßigkeit längs der c-Achse feststellen zu können, war der Bereich zu klein.

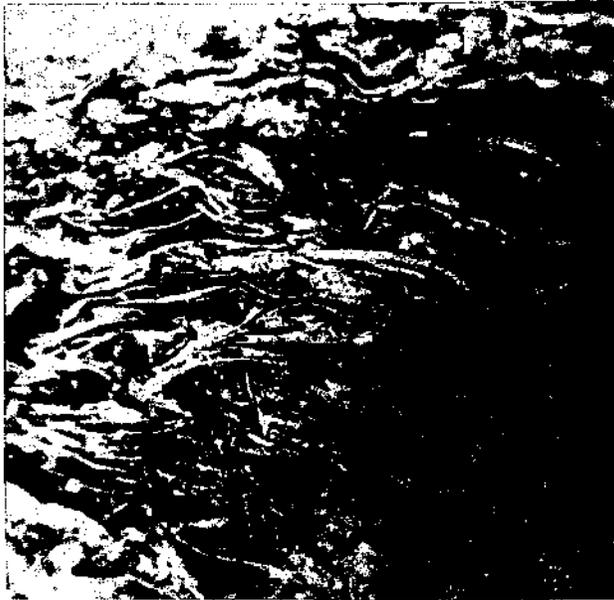


Abb. 5.

Vergr. ca. 5fach. Knitterkräuselung. Die Schalen sind knitterig geknickt.

Deformation der Schälchen im Pelit. Im allgemeinen liegen die Schälchen im Pelit ungestört wegen der höheren Teilbeweglichkeit desselben. Der Pelit zwischen den Schalenfeinschichten gibt die Gleitbahnen ab, und begünstigt dadurch die Kräuselung, dabei wird der Pelit in die Scheitel transportiert und liegt meist nur dort.

Liegt reichlich Pelit zwischen den Schalenlagen, geht die Kräuselung in Knitterkräuselung über (Abb. 5). Schalen werden ausgeknickt, quer gestellt und von der nachdringenden Spitze im Pelit rotiert und ganz umgelegt. Dies setzt ziemliche Beweglichkeit des Pelites voraus, die Schale wäre sonst zerbrochen. Auch bei der Knitterkräuselung ist kein sicheres Ausknicken geopetal nach oben zu sehen.

Die Knitterkräuselung geht in normale Warzenkräuselung über.

Zusammenfassend kann man sagen, Kräuselung mit Warzensymmetrie entsteht sehr wahrscheinlich durch Schub in s, sie ist die erste Deformation, doch läßt sich Oberflächennähe nicht erkennen,

aber im Fall der Knitterkräuselung war der Pelit sicher noch gut plastisch.

Die rhombische und viel häufigere monokline Kräuselung unterscheidet sich neben der Symmetrie durch größere Amplituden und Perioden von der Warzenkräuselung. Sie ist unregelmäßig und verstärkt sich an den Rändern von Brecciengebieten, wo sie liegende Überfallen bilden kann, sie ist nirgends geopetal. An Stellen, wo es zur Breccienbildung kommen soll, wird das Gestein unter monokliner Fältelung ineinandergetaucht und geht dann wieder auseinander, was korrespondierende Ränder beweisen.

**Breccienbildung.** Senkrecht s ziehen im Aufschluß mehrere Meter verfolgbare Zertrümmerungszonen, 20–30 cm breite Breccienbildungen. Randlich gehen diese in ein Kluftnetz über, welches das Gestein zwar in eckige Komponenten zerlegt, diese aber nicht gegeneinander verstellt. Die klaffenden Hohlräume sind mit bis zu mehreren Zentimeter großen Kalzitkristallen gefüllt.

Ein großer Block auf der E-Halde des Steinbergkogels wird von einer 93 cm langen, durchschnittlich 15 cm breiten Breccie durchzogen. Durchlaufende Monolisschichtung läßt kontrollieren, daß die einzelnen Komponenten nur geringe Verstellungen erfahren haben, an einem Rand sind die Kräuselwarzen sonderbar scharf abgeschnitten, die Komponenten zeigen hier die geringste Verstellung. Gegen den gegenüberliegenden Rand zu werden die Durchbewegungen stärker, man findet Verstellungen bis zu 90 Grad. Die Feinschichtung dieses Randes ist stark monoklin gefältelt, liegende Überfallen und Überschiebungen bis zu 25 cm kommen vor. Die Komponenten zeigen Warzenbildung, diese ist also älter als die Breccie und die monokline Kräuselung.

Im An- und Dünnschliff läßt sich die Breccie noch genauer kennzeichnen. Schon nach dem oben Gesagten handelt es sich eindeutig um eine späte Deformationsbreccie (Sander, 29), tektonische Breccie. Vor allem das Fehlen von Myloniten, im Zusammenhang mit den geringen Relativbewegungen der einzelnen Komponenten untereinander, sprechen dafür. Nur an den Rändern der Breccie findet man Mylonite. Hier sind die Bewegungen größer, als Gleitbahn dient s, die Förderweiten, 1–2 cm, lassen sich an Fossileneinschlüssen oder auch an der Kräuselung kontrollieren. Über einem zertrümmerten Bereich bewegt sich eine im Anschliff 4 cm lange Komponente, alle Unebenheiten werden mit einem feinen Mylonit ausgefüllt, von der Sohle der Komponente sind hobelschartenartig Späne abgehoben, die in den Pelit stechen, und so den Relativsinn der Bewegung erkennen lassen. Durch den Friktionsdetritus werden einzelne Trümmer verbunden und bewegen sich als neue Komponente (Breccie in Breccie) weiter.

Das Zerbrechen erfolgt nachweisbar in mindestens zwei Akten:

1. Auflösung in eckige Komponenten und Füllen der Klüfte mit spätem Kalzit, 2. Zerbrechen der Komponenten (1.) in weitere Trümmer, diese klaffen zum Teil mit korrespondierenden Grenzen auseinander, oder es bleibt nur ein Sprungsystem, dabei setzen sich die Sprünge in die Kalzitfüllungen fort, und werden so als jünger erkannt.

Oder auch die Sprünge werden von dem gleichen Einkristall gefüllt, der die Komponenten einhüllt, nachfolgende Umkristallisation des Kalzites ist dann nur im Zusammenhang als jünger erkennbar.

(Oder auch nur in den Komponenten kommt es zur Sprunghildung, während das Kalzitgefüge unversehrt bleibt, aus Gründen der Festigkeitsinhomogenität der beiden Bereiche, in Analogie zu dem von Sander beschriebenen Fall in den Drei Zinnen, Sander, 28, S. 152.)

Druckstellen, an denen zum Beispiel Trümmer gegen Spitzen gestaucht werden, sind selten, eben wegen der geringen Durchbewegung. Längs der Klüfte der zweiten Deformation erfolgt manchmal Dolomitisierung. Selten greift Kalzit metasomatisierend in die Komponenten über und verschiebt so die Grenze der Kluft, ohne die Komponente zu bewegen.

Außerst selten ist die sekundäre (später) Rotverfärbung, die nebeneinanderliegende, nachweisbar zusammengehörige Komponenten ganz verschieden färbt.

Aufs engste mit den Breccienzonen verknüpft sind Kluftsysteme, die stellenweise direkt aus der Breccie hervorgehen. Sehr bezeichnend für diese Klüfte ist ihr starkes Klaffen, welches so weit geht, daß sie zu Wanderstraßen von Pelit werden, der sich manchmal geopetal in richtiger Hohlräume sedimentation mit freier Oberfläche ablagert. Die Wände dieser Klüfte sind oft mit Kalzitrasen bewachsen. Es zeigt sich, daß die gpt. Richtung der Kluftfüllung mit den allgemeinen s der Sedimentation annähernd zusammenfällt, oder nur leicht dagegen verkippt ist, auch dort, wo die Schichten heute steil einfallen.

Die Kluftfüllungen wurden also schon vor der tektonischen Verstellung eingestellt, daraus ergibt sich weiter, daß die Deformationsbreccienbildung älter als die großtektonische Verstellung der Hallstätter Kalke ist.

In manchen Kluftfüllungen wurde Schälchendetritus gefunden, Foraminiferen, Formen die in der Monotisbank sonst nirgends zu finden sind. Die Schälchen in diesen Klüften zeigen, daß der Pelit zum Teil plastisch in die Hohlräume eingeflossen ist, so wie  $K_4$  in den Astraturiten des Sommeraukogels (siehe später). Man muß annehmen, daß diese Pelite später von oben in die Monotisbank eindrangen. Als späteste Deformation durchziehen, scharf alles schneidend, Sprünge das Gestein, oft mit spätem Kalzit gefüllt.

Es lassen sich zeitlich folgende Akte eingliedern:

1. Sedimentation.
2. Warzenkräuselung.
3. rhmb. und mkl. Kräuselung, Deformationsbreccienbildung und Kluftbildung.
4. Füllen der Klüfte mit Peliten aus dem Hangenden.
5. Verkipfung des s zum heutigen Fallen und Rupturenbildung.

## 2. Die Monotislinsen im Astraturit des Steinbergkogels.

Im liegenden Astraturit der Steinbergkogel E-Seite findet man an einigen Stellen Anhäufungen von Monotis und Halobia. Gleich am Fuß des Steinbergkogel-E-Abfalles befindet sich eine größere Linse. Sie wurde, soweit es die Aufschlußverhältnisse zuließen, auf ihre Gestalt hin untersucht und ausgemessen. Die Grundfläche ist

ca.  $20 \times 200$  cm rechteckig, die Höhe 100 cm, sie streicht N—S. Die Muschelschälchen liegen in einer steil nach N einfallenden E—W-streichenden Fläche. Diese Ebene ist das allgemeine s, auch die Schichtung im Hangenden liegt parallel zu ihr, sie bildet die steil gegen N einfallende Flanke der Steinbergkogel—Sommeraukogel-Antiklinale. Will man die Monotislense in ihrer ursprünglichen Lage betrachten, muß man sie um 90 Grad um die E—W-Achse drehen.

Die Linse erscheint dann als 1 m lange und 2 m tiefe schmale Tasche, die mit Muscheln ausgefüllt wurde. Die Schalen der Muscheln wurden dabei gut in s eingeregelt, nur an den Rändern der Tasche sind sie leicht nach aufwärtsgebogen; ein Umstand, der sich leicht durch Reibung an der Wand beim Absinken erklärt. Es entsteht dadurch im Gefüge der Linse eine Polarität, welche oben und unten ablesen läßt. Die Linse enthält gemischt Halobia und Monotis, wobei Monotis überwiegt.

Es gibt nur wenige zerbrochene Schalen, der Großteil ist unverseht und gut erhalten.

An- und Dünnschliffe. Die Schalen liegen so dicht, daß sich nur selten ein Hohlraum bildet, in dem sich ein gpt. Gef. ausbilden kann. Manchmal findet man gpt. Bodenbelag in den die konkave Seite nach oben kehrenden Schälchen. Diese Lage konkav nach oben, konvex nach unten, ist bei stärker gekrümmten Schalen bevorzugt, sie entspricht ganz dem Mechanismus des Absinkens. In manchen Fällen, glaube ich, die Abbildungen eines Strömungsvektors im s-Gefüge zu erkennen, in dem Sinne, daß in günstig geführten Schnitten die Schloßseiten der Muschel (also anatomisch oben) vorwiegend nach einer Richtung zeigen.

Allerdings, zählt man die Fälle der Gleichlagerung über größere Bereiche, so verschwindet diese Regel. Es handelt sich daher entweder um eine Täuschung, oder, was mir wahrscheinlicher erscheint, die jeweiligen Bodenströmungen haben nur kurz gewirkt, und ständig gewechselt.

Im Dünnschliff sieht man, daß die Schälchen in gleicher Weise umgewandelt sind wie in den oben beschriebenen Monotiskalken, nur sind die Kalzitrasen bedeutend mächtiger, Rasen bis zu 1 mm Mächtigkeit kommen vor, es wurde also mehr Kalzit angelagert.

Die Muscheln in der Linse lagen wahrscheinlich nicht so dicht wie in der Monotisbank, so konnten die Lösungen besser zirkulieren und die Schalen umspülen. Auch die Wände der Kluft sind mit Kalzitrasen, c, senkrecht bewachsen.

Überall im Astraturit des Steinbergkogels findet man Nester und Anhäufungen von Muscheln. Sie werden gegen den Monotiskalk zu immer häufiger.

### 3. Hellgraue Kalke am Steinbergkogel W.

An der W-Seite des Steinbergkogels steht gut stratierter hellgrauer Hallstätter Kalk des obersten Nor an. In diesem Kalk befindet sich der einst ergiebigste Fossilfundplatz des Steinbergkogels (Fossilzeichen auf der Karte). Heute sind die Aufschlüsse stark verwachsen und ausgebeutet. Ich konnte einige lose Stücke finden. Schon im Handstückbereich findet man eine Unzahl von Fossilien, Muschelschalen, Ammonitengehäuse und Crinoidenglieder angehäuft. Die Ammonitengehäuse liegen ganz ohne Regel, nur durch Muschelschalen wird an manchen Stellen ein s markiert. Fast in allen Gehäusen liegen gpt. Hohlraumsedimente, deren s untereinander gänzlich verschieden sind. An einigen Stellen liegen im Pelit fremde, runde Pelitbereiche, Schlückgerölle (über Schlickgerölle siehe später).

Im Hallstätter Lokalmuseum befindet sich eine Tischplatte, die von diesem Fundort stammt. Sie stellt ein außerordentlich bezeichnendes Präparat für diesen Gesteinstypus dar. Die ganze Platte ist erfüllt von Ammonitengehäusen, es kann dabei keine bevorzugte Schnittlage gefunden werden. Obwohl reichlich längliche Muschelschalen vorhanden sind, stellen sich diese nicht in ein allgemeines  $s$  ein. Nur in kleinen Bereichen sind die Schalen gleichgerichtet, diese Bereiche stimmen aber untereinander nicht überein. In den Kammern der Ammonitengehäuse liegen ausgezeichnet gpt. Hohlraum-sedimente, dabei stimmen nicht einmal die  $s$  in ein und demselben Gehäuse überein.

In einem Gehäuse sieht man fünf verschiedene, bis zu 360 Grad gegeneinander verstellte  $s$ , in anderen noch mehr. Das bedeutet, die Gehäuse müssen sich bewegt haben, dann so lange ruhig gelegen sein, bis sich das Hohlraum- $s$  einstellen konnte, dann wurden sie wieder weiter gerollt. Schließlich wurden alle Gehäuse und Schalen auf einen engen Bereich zusammengeschwemmt. Man muß also in diesen vielfach verstellten  $s$  ein Anzeichen für eine beträchtliche Bodenströmung erblicken. Auch die Schlickgerölle sprechen dafür.

#### 4. Das Profil des Sommeraukogels an den Wänden über der Werkstatt.

Auf die Tektonik des Sommeraukogels soll nicht näher eingegangen werden, ich muß auch hier wieder auf Spengler (34) verweisen. Die Schichtung liegt im Süden an den Wänden oberhalb der Werkstatt flach, weiter gegen Norden zwischen den Kögen fällt sie steil gegen N ein.

Also eine halbe Antiklinale mit E—W-Achse. An den Wänden nördlich der Werkstatt ist das ganze Profil aufgeschlossen. Das Liegende ist ein ca. 200 m mächtiger Astraturit (auf der Karte als Hallstätter Riffkalk ausgeschieden), dann der 200 m mächtige unternorische Hallstätter Kalk. Dieser zeigt überall ausgezeichnete Schichtung. Die letzten 25 m der Wand sind von der Blenigfährte auf der Höhe des Sommeraukogels gut begehbar. In den liegenden 20 m dieses Profils ist der Kalk auffallend gut geschichtet, Bänkchen mit einer mittleren Mächtigkeit von 8.3 cm aus 103 Messungen gemittelt, die mittlere Abweichung 2.75 cm, das ist 31% vom Mittel. Gegen oben ist bei vollkommen gleichbleibend scharf ausgeprägter Rhythmik eine Zunahme der Bänkchenmächtigkeit zu beobachten, in den obersten 5 m wurden 6 Bänkchen mit einem Mittel von 14 cm gemessen, in dem Graben oberhalb der Schlaipfenmoosstube, also in dem ursprünglich Hangenden, wurden 6 weitere Bänkchen mit einem Mittel von 40 cm gemessen.

Die Schichtfugen sind von einer 0.5—1 cm mächtigen Schicht eines bei Anwitterung gelblich, oft auch rötlich aussehenden Sedimentes erfüllt. Diese Schicht verwittert leichter als die Bänkchen und bildet daher die Fugen. Die Mächtigkeit der Zwischenschicht kann bei einzelnen Rhythmen auch bis zu 5 cm und mehr betragen, dabei wird die Kalkschicht auf Kosten der mächtigeren Zwischenschicht

reduziert. Eine gemessene Rhythmenfolge soll diesen Vorgang verdeutlichen: 1 cm Zwischenschicht, 3·5 Kalkbänkchen, 1·5 Z. 2 K. 1·5 Z. 4 K. 1·5 Z. 3 K. 3 Z. 2 K. 5 Z. Bei der Präparatentnahme bricht das Kalkbänkchen meist von der Zwischenschicht, so daß die meisten Stücke nur ohne Zusammenhang entnommen werden konnten. Die Zwischenschicht mit dem dazugehörigen Kalkbänkchen stellt die größte von mir in den Hallstätter Kalken aufgefundene Rhythmen-einheit dar, sie soll der 8 cm-Rhythmus heißen. Die Zwischenschicht besteht, wie im Dünnschliff zu sehen ist, aus einem Dolomit-Psammit mit ziemlich gleichbleibenden Korn von 0·2 mm. Die Körner liegen ziemlich dicht nebeneinander, ohne irgend ein s-Gefüge erkennen zu lassen, dazwischen liegen feinere Kalkkörner 2–3  $\mu$ . Die mächtigeren Zwischenschichten zeigen Feinrhythmen, von der Größenordnung 1 mm. Diese Rhythmen zeigen nur in wenigen Fällen polaren Bau, indem sie mit grobem Korn einsetzen und gegen oben feiner werden (graded bedding, 2), in der Regel sind sie unpolare homogene Pelitbereiche, voneinander durch eine dünne 0·1 mm mächtige Lage von Eisenhydroxyd getrennt. Häufig wird eine Feinrhythmik durch sekundäre rhythmische Farbstreifen, wahrscheinlich Diffusionsrhythmik vorgetäuscht. Diese Diffusionsrhythmen sind im Anschliff als 1 mm breite rostbraune Bänder, die durch einen kräftig lila gefärbten Strich voneinander getrennt sind, zu sehen. Besonders täuschend wirken sie dort, wo sie in s verlaufen, sie werden aber an Stellen, wo sie schräg zu s laufen und das ungestörte s-Gefüge noch erkennen lassen, als sekundäre Färbung erkannt.

Es wurde eine Anzahl ganzer Kalkbänkchen entnommen und im An- und Dünnschliff untersucht. Es zeigt sich, daß diese Bänkchen wieder durch Rhythmen reich gegliedert sind, jedes einzelne Präparat stellt ein Dokument der Sedimentationsgeschichte in dem betreffenden Zeitraum dar. Irgendeine regelmäßige Abfolge, die sich in allen Bänkchen wiederholt, konnte nicht festgestellt werden.

Probe 85 soll als Beispiel dienen; es handelt sich um ein ganzes Bänkchen, 6·5 cm mächtig: a) 10 mm feiner Kalkpelit, Korngröße kleiner, 5  $\mu$ , b) 5 mm Kalkpelit, Korngröße siehe Abb. 6. Die Grenze gegen das Liegende ist scharf, die Schichtoberfläche von a) zeigt einige bis 0·5 mm tiefe Einschnitte, wahrscheinlich geringer Externabtrag, bevor b), sedimentierte, c) 11 mm rötlicher Pelit mit Dolomitbeteiligung, setzt mit größeren Körnern ein (größer als 20  $\mu$ ) und wird gegen oben feiner. Die Dolomitmörner des Pelites sind die größten Körner, sie bleiben ziemlich gleichgroß, 20–30  $\mu$ , es fallen 24 Körner auf einen mm<sup>2</sup> des Schliffes. Nach einer ziemlich scharfen Grenze setzt plötzlich d) 17 mm Globigerinenschlamm ein. An der Grenze gegen c) drücken sich einige Foraminiferen bis 0·25 mm in den liegenden Pelit ein. Der Durchmesser der Foraminiferen (hauptsächlich Globigerinen) beträgt durchschnittlich 0·4 mm. Auf einen mm<sup>2</sup> des Schliffes kommen ca. 2 Foraminiferen. Der Pelit zwischen den Foraminiferen wird durch Abb. 7 charakterisiert, gegen Abb. 6 ist deutlich die stärkere Beteiligung der größeren Korngruppen zu sehen, die wieder durch Dolomitbeteiligung geliefert werden. Innerhalb d) herrscht Feinrhythmik: 4·5, 4, 3, 4, 2·5 mm. Die Rhythmik wird zu Beginn bei gleichbleibendem Dolomitgehalt durch Schwanken der Kalkkorngrößen bedingt, weiter oben durch Schwanken der Dolomitmörnerbeteiligung. Der Korndurchmesser der Dolomitmörner bleibt immer gleich groß, 20–30  $\mu$ . In den dolomitmörnerreichen Teil des Rhythmus (3·5 mm) fallen 100 Körner auf den mm<sup>2</sup>; in den dolomitmörnerarmen Teil 40 Körner pro mm<sup>2</sup>. In allen Schichten bleibt die Si O<sub>2</sub>-Kornbeteiligung gleich, im Schliff 31 Körner pro mm<sup>2</sup> Korngröße 5  $\mu$ , und kleiner 5  $\mu$ .

ABB. 6  
KORNGRÖSSEN-  
VERTEILUNG  
PELIT 6

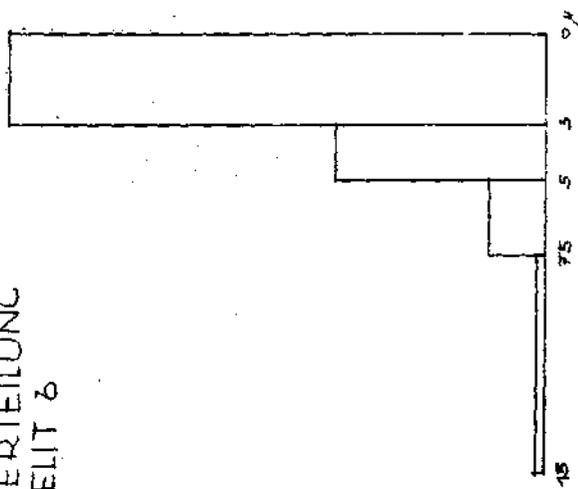
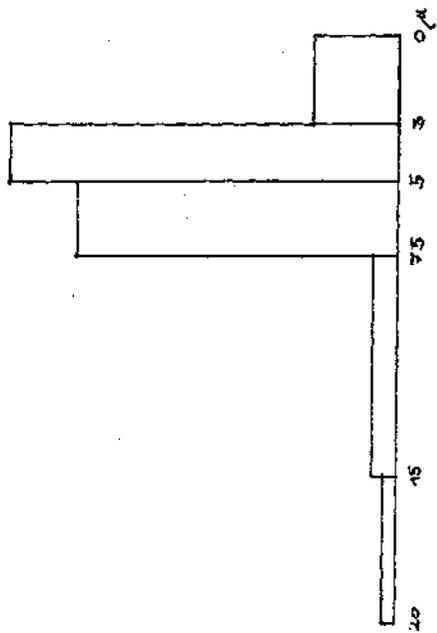


ABB. 7  
KORNGRÖSSEN-  
VERTEILUNG  
PELIT d



Innerhalb des 8 cm-Rhythmus findet man ähnliche Abfolgen immer wieder, plötzliches Einsetzen der Globigerinen und Verschwinden, Schwankung der Kalkkorngrößen und Schwankung der Dolomitkornbeteiligung bedingen Schichtung. Auffallend ist, daß die Dolomitkomponente in fast allen Präparaten die gleiche Korngröße liefert. Eine Erklärung dafür ist vielleicht folgende Beobachtung: in einigen Präparaten zerfallen organische Reste aus Dolomit auch in Körner der gleichen Größenordnung, vielleicht stammt die gesamte Dolomitbeteiligung von zerfallenem Organodetritus, eine Vermutung, die sich allerdings nicht beweisen läßt.

Außerordentlich bezeichnend ist der scharfe Wechsel der Sedimentation an der jeweiligen Schichtoberfläche, wahrscheinlich kommt es manchmal zu äußerst geringfügigem Externabtrag, Unkonformitäten und Diskordanz kommen nicht vor. An einigen Stellen sieht man, wie plastischer Globigerinenschlamm in den liegenden Pelit eindringt, im Anschluß sieht man den Globigerinenschlamm in keulenförmigen Vertiefungen des plastisch verdrängten Pelites liegen. Die tiefen Lagen des Liegenden sind vollkommen ungestört, über der Störung geht die Sedimentation ungestört weiter. Aus der Tatsache, daß Globigerinenschlamm immer ins Liegende dringt, das heißt, daß die Keulen immer gegen unten zeigen, kann man auf Oberflächennähe des Vorganges schließen. Wahrscheinlich genügt eine ganz kleine Inhomogenität im Pelit des Liegenden, um ein Einsacken des Globigerinenschlammes zu begünstigen; da nur Globigerinenschlamm diese Erscheinung bedingt, ist wahrscheinlich die außerordentlich hohe Teilbeweglichkeit des fast ganz aus glatten Kugeln bestehenden Sedimentes maßgebend. Es handelt sich demnach um eine frühe Bewegung im Sediment, ohne Beteiligung einer Wasserströmung, lediglich durch die Schwerkraft bedingt. Anzeichen irgendwelcher stärkerer Wasserbewegung fehlen vollkommen.

Auf der Höhe des Sommeraukogels gegen den Solingerkogel vollzieht sich der Übergang von stratifizierter Fazies in astraturierte.

Die Schichtbänke haben dort eine Mächtigkeit von 40 cm. Vor allem an den Schichtfugen beginnt Knollenbildung, zwischen den Knollen ziehen rote Schlieren aus der Fuge in die Schichtbank, der rote Pelit liegt vor allem in der Fuge, und wandert ohne scharfe Grenze in den Pelit der Bank. Auch innerhalb der Bank liegt roter Pelit primär mit an der Oberfläche aufgearbeitetem hellrotem Pelit vermischt. Bei zunehmender Durchbewegung beginnt vor allem der dunkelrote Pelit zu wandern und liegt dann umgelagert als  $K_2$  in  $K_1$  (siehe später). Innerhalb des Astraturites finden sich vielfach Knollen, die zum Teil als fossile Schlickgerölle gedeutet wurden.

Unter Schlickgeröllen versteht man Komponenten aus zäh plastisch verfestigtem Pelit oder Psamit, die durch Wasserbewegung zu gerundeten Geröllen aufgearbeitet wurden (paradiagenetische Gerölle).

Voraussetzung zur Entstehung solcher Gerölle sind folgende: erstens der Pelit muß einen gewissen Grad von Verfestigung erreicht haben, das kann er entweder durch Austrocknen oder auch durch Entwässern unter Wasserbedeckung. Zweitens: es müssen innerhalb des Pelites Inhomogenitäten gegeben sein, die das Losbrechen von Komponenten ermöglichen. R. Richter (24) hat über die Entstehung von Schlickgeröllen berichtet. Er hat beide

Fälle der Entstehung im Trockenen und unter Wasserbedeckung in einer Tiefe von 23 m beobachtet. Im ersten Fall sind die Voraussetzungen der Verhärtung durch Austrocknung gegeben, dabei wird das Sediment durch Trockenrisse zerissen, so daß die Voraussetzung der Inhomogenität gegeben ist, einzelne Brocken können abbröckeln und diese werden dann von der Brandung zu Geröllen aufgearbeitet. Genau das gleiche konnte R. Wejn-schenk an den Ufern des stark abgesenkten Achensees beobachten. Die Entstehung der Unterwassergerölle erklärt R i c h t e r, indem er annimmt, daß an den steilen Unterwasserkannten des schnellabbindenden Schlicks (etwa in Prielbetten) von der Strömung Partien unterwaschen werden und so abbröckeln. Weitere Inhomogenitäten, die zum Anlaß von Schlickgeröllbildung unter Wasser genommen werden können, sind auch unter Wasser mögliche Trockenrisse, T w e n h o f e l (39) berichtet (nach einem mir unerreichbaren Zitat) darüber. Im Experiment kann man Trockenrisse unter Wasser an kolloidalen Tonen erhalten, darüber bei H. J ü n g s t (16). Es handelt sich um die Entwässerung von gefälltten Kolloiden, die unter dem Namen Synärese bekannt ist. Eine interessante Beobachtung bei einer Taucheruntersuchung teilt W a s m u n d (42) mit, in einer Tiefe von 12 m. „Der Boden war hier durch mehr oder weniger abgerundete Vielecke gemustert, ähnlich wie bei Trockenrissen. Die inneren Flecken von etwa 20—40 cm Durchmesser waren hell-sandig, die schmalen Zwischenräume bis 5 cm Breite waren erfüllt von schwarzem Detritus und Kot. Eine nähere Untersuchung wurde verhindert.“ Der von W a s m u n d beschriebene Boden erinnert stark an Bilder, die man an großen Anschliffen parallel s von Lias-Knollenkalken beobachten kann. In solchen Anschliffen sieht man auch, daß die Schichtoberfläche trockenrißartig in Schollen von 20 cm Durchmesser zerlegt ist. Die Schollen, das sind die Knollen, sind hellrot kalkig, und die Füllungen der Risse sind dunkelrot mergelig. Im Anschliff senkrecht s sieht man das bekannte Knollenkalkgefüge.

Bei den Knollenkalken der Hallstätter Kalke konnten Untersuchungen in Anschliffen parallel s leider nicht durchgeführt werden, weil dazu Platten von mindestens Quadratmeter Größe notwendig gewesen wären. Eine ähnliche Erscheinung dürfte aber folgende sein. Die hellgrauen Kalke des Steinbergkogels zeigen an einigen Stellen gute Schichtung, die Schichtbänke haben eine Mächtigkeit von 5 bis 30 cm. Die Schichtoberfläche ist mit vollkommen unregelmäßigen knollenartigen Höckern 5—10 cm im Durchmesser 5 cm hoch besetzt. Auf der ganzen Schichtoberfläche ist keine bevorzugte Richtung zu erkennen. Die Schichtbänke zerfallen in ziemlich regelmäßige prismatische Zellen mit einer Seitenlänge von 10—20 cm. Vielleicht geht dieser Zerfall auf ein altes Schrumpfrißsystem zurück (etwas ähnliches beschreibt K. F i e g e (9), S. 29, und kommt zu ähnlicher Deutung). Durch stärkeres Einschnüren der Höcker können ganze Bänke in Knollenschnüre aufgelöst werden.

Knollenkalken werden auch oft als Ergebnisse von Entmischungen (Konkretionen) beschrieben, vermutlich auch mit organischer Mitbeteiligung. Man kann also nach dem Gesagten, wenn man die Genese von Knollenkalken erklären will, nicht sagen, ob die Schlickgerölle ursprünglich konkretionärer Entstehung waren. Knollenkalken, in denen die Knollen in senkrecht s Schliffen wie Perlenschnüre parallel s liegen, kann man nicht als Zusammenschwemmungen von Schlickgeröllen erklären. Treten solche Perlenschnüre rhythmisch auf, spricht das für rhythmisch verschiedenes Sediment, eine rhythmische Entmischung aus ursprünglich homogenem Sediment erscheint mir nicht wahrscheinlich. Gefügekriterien, die für oder gegen

Entmischung sprechen, konnten nicht gefunden werden, sind auch gedanklich nicht zu erwarten.

In meinem Material konnte spätektonische Entstehung der Knollen eindeutig ausgeschlossen werden. Die Knollen und das umhüllende Sediment werden von frühem Internabtrag erfaßt. In den so entstandenen Höhlen stellt sich das gpt. Hohraumsediment scharf in das allgemeine s ein. Im Dünnschliff zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Gefüge des Knollens gegen das Gefüge der Umhüllung. Im Knollen liegen wenig Schälchen ziemlich regellos; es wurde versucht, ein statistisches s in den Knollen zu gewinnen, dies gelingt nur in wenigen Fällen, es fällt mit dem allgemeinen s zusammen. Im Dünnschliff des Knollens sieht man, daß dieser ganz von kreisförmigen, ca. 0.1 mm Durchmesser großen Flecken mit ziemlich scharfen Rand erfüllt ist. Es dürfte sich um organische Reste handeln. Einzelheiten lassen sich nicht erkennen, vielleicht sind sie für die Knollenbildung verantwortlich, sie kommen in der Umhüllung nicht vor. Die Zwischenräume dieser Rundkörperchen werden von Körnern 0.01 mm und Kalzitkristallen bis 0.1 mm ausgefüllt. Während das Gefüge der Knollen durch die geringe Schälchenanzahl locker erscheint, wirkt das Gefüge der Umhüllung dicht gepackt. Die Schälchen der Umhüllung liegen dicht um den Knollen gepreßt, sie bezeichnen über größere Bereiche genommen, ein außerordentlich scharfes s, das mit dem allgemeinen s identisch ist. Im allgemeinen ist die Grenze Knollen gegen Umhüllung eine scharfe, kein Schälchen aus dem Knollen ragt in die Umhüllung. Daneben wurden aber auch Stellen gefunden, wo die Grenze unscharf ist, bezeichnend ist hier das immer stärkerwerden der Schälchenregelung bei gleicher Abnahme der beschriebenen Rundkörperchen. Die scharfe Grenze der Knollen könnte man in dem Sinn deuten, daß die Knollen schon während der Sedimentation isoliert lagen; das gleiche Bild, und das scheint mir wahrscheinlicher, kann aber auch durch ungleiche Setzung (differential compaction, 3) bewirkt sein. Der Pelit des Knollens war zäh plastisch, die Schälchen im Knollen stecken in diesem Pelit nur schlecht eingeregelt, während die Schälchen der leicht beweglichen Umhüllung bei einsetzender „compaction“ um die Knollen gepreßt, und scharf in s eingeregelt werden. Als Kompaktionserscheinung muß man auch die Tatsache deuten, daß die Schälchen in den Knollenrandpartien parallel zu den Knollenrändern gepreßt liegen, während sie im Inneren des Knollens annähernd in s liegen. Durch Differentialkompaktion können einzelne Knollen auch leicht gegen das allgemeine s verstellt werden. Die ganzen Vorgänge sind sehr früh; der Pelit der Umhüllung war auch gut beweglich und der erwähnte Internabtrag traf schon ein fertiges Gefüge vor. Die Tatsache, daß Knollen durch Wasserströmung aus dem Gefüge gelöst werden können, spricht für Oberflächennähe der Knollenbildung. Es würde so ein isoliert transportierter Knollen gefunden, Externabtrag und Füllung der dadurch entstandenen Vertiefungen, an der Knollenoberfläche, ohne Fließgefüge, sprechen dafür. Seltener sind Knollen von Pelit in gleichem Pelit, der Pelit des Knollens unterscheidet sich von dem Pelit der Umhüllung nur durch einen leichten Farbunterschied, es sind dann

natürlich keine Anzeichen von diff. Kompaktion zu sehen. Solche Knollen sind richtige Schlickgerölle, ihr *s* ist gegen das allgemeine *s* völlig verstellt, sie sind richtig gerollt. Besonders gut kann man ihre Entstehung an einem Stück sehen: hellroter Pelit wird von noch helleren überlagert, an der Grenze löst sich ein Knollen vom Liegenden, weiter oben schwimmen einige Knollen von 1—2 cm Durchmesser aus dunklerem in hellerem Pelit, alle sind rotiert. Sie stellen ein richtiges Resediment dar.

Unter anderen stellte Schaffernack (30) zur Ermittlung des Zusammenhanges Geschiebetransport, Strömungsgeschwindigkeit, Versuche an. Er stellt drei Grenzgeschwindigkeiten auf, die er als Funktion der Korngrößen darstellt: 1. Vibrieren und Pendeln, teilweise Umlagerungen einzelner Gerölle, 2. schon bewegte Geschiebe werden noch in Bewegung erhalten, 3. Beginn der Bewegung des vorerst ruhenden Geschiebes. Aus seinen Diagrammen kann man also die Bodenströmung, die ein Geröll von 1—2 cm Durchmesser in Bewegung setzt, entnehmen, man kommt auf eine Strömungsgeschwindigkeit von 70—130 cm/sek., geht man unter Grenzgeschwindigkeit für beginnendes Vibrieren ein, ergibt das einen Betrag von 40—60 cm/sek. Man kann die Bodenströmung auf 50—150 cm/sek. schätzen; es ist klar, daß es sich dabei um einen Mindestbetrag handelt.

#### 5. Astraturit des Sommeraukogel.

Das Gestein an dem bekannten Fossilfundplatz Sommeraukogel „zwischen den Kögeln“ zeigt keine Schichtung. Seine Farbe ist meist hellrot, an vielen Stellen sind dunkelrote Einlagerungen zu sehen, stellenweise schlierig in das Gestein verfließend, stellenweise aber auch scharf abgegrenzt. Die ursprünglichen Sedimentationsflächen stehen saiger E—W-streichend, das Oben zeigt gegen N. Das geht aus der ganzen Tektonik, und vor allem auch aus den wenigen Stellen, wo noch Schichtung zu sehen ist, hervor. Dieser Befund konnte auch in allen orientiert entnommenen Handstücken überprüft werden. An diesem Fundort sind auch die zwei Linsen gelegen, aus welchen Mojsisovics und Diener ein großes Fossilmaterial sammelten. Leider konnte ich nichts mehr davon sehen. Nach der Beschreibung von Dr. Morton (Hallstatt) war die eine der Linse etwa 2 m im Durchmesser und lag flach, also senkrecht *s*, wie dies bei den schon beschriebenen Monotislinsen der Fall ist. Im W-Teil der Wand, nahe der Stelle, wo der Hallstätter Kalk von Lias überlagert wird, konnte ich eine kleine Linse mit einem Durchmesser von ca. 1 m finden. Diese Linse liegt ebenfalls flach, also senkrecht *s*. Ihre wahre Gestalt ließ sich wegen des unvollständigen Aufschlusses nicht genau ermitteln, ihr Grundriß dürfte wahrscheinlich quadratisch sein, 1 m im Quadrat. Die Ränder sind linsenartig zusammengedrückt, das umliegende Gestein schließt sich vollkommen. Man kann in der Linse zwei Schichten unterscheiden, unten einen hellroten Kalk, ganz erfüllt von kleinen Ammoniten, darüber ein ziemlich grob aussehender Sandstein mit mm-Rhythmen und schon im Aufschluß sichtbarer Kreuzschichtung. Diese Schichtung zeigt an ihrem oberen Rand deutlich Schleppungen in einer Richtung. Diese könnten tektonisch bedingt sein, was zwar bei der sonstigen Ungestörtheit nicht zu erwarten, aber auch nicht sicher auszuschließen ist.

Die Feinschichtung streicht 45 Grad W und fällt 70 N—E.

Wie schon erwähnt, liegt aber das ganze Gestein um 90 Grad gegen N verdreht. Macht man diese Verdrehung konstruktiv (mit Kugelprojektion) rückgängig, dann liegen die gpt. Hohlräumfüllungen in den Ammoniten richtig und die Schrägschichtung im Sandstein streicht jetzt 30 E und fällt 50 gegen N—E.

Der Sandstein wurde im An- und Dünnschliff untersucht. Mit Lemberg-färbung zeigt sich, daß das Gestein aus fast reinem Kalzit besteht, die Feinrhythmik 1—2 mm wird durch Korngrößenschwankung hervorgerufen. Die einzelnen Rhythmen zeigen polaren Bau, und zwar setzen die groben Körner scharf ein, werden allmählich feiner und werden scharf von der nächsten groben Lage abgeschnitten. Diese Art von Rhythmus ist eine ungemein häufige, sie entspricht einem Saigerungsvorgang. Bei einmaligem Einspülen groben Materials wird das Grobe zuerst abgesetzt, und dann erst das Feine. Dies beobachtet man zum Beispiel an den glazialen Warven Schwedens, wo mit der Frühjahrsschmelze verstärkter Materialtransport einsetzt, dann abklingt. Ich konnte das gleiche Gefüge aber auch in der Deltaablagerung eines Baches nach einem einmaligen Wolkenbruch beobachten. Die scharfe Grenze des feinen Kornes zeigt immer nach oben, das Grobe liegt polar darauf. Das ganze stellt also ein richtiges gpt. Gef. dar (graded bedding der Amerikaner, zum Beispiel Billings, 2).

Die zeitliche Dauer des Rhythmus läßt sich schwer abschätzen.

Die Regelmäßigkeit würde für Jahre sprechen, es können aber ebenso gut periodisch wirkende Gezeitenkräfte in Frage kommen; das abzuschätzen, ist der Bereich viel zu klein.

Im Dünnschliff zeigt sich, daß die Hauptmasse der Körner aus Kalzitkristallen besteht, im groben Bereich 0.15—0.1 mm, im feinen Bereich bis 0.05 mm. Die Körner des groben Bereiches grenzen mosaikartig aneinander, sind also nach der Sedimentation sicher unkristallisiert, im feinen Teil der Schicht kann man das nicht mehr sicher ausnehmen, doch dürften hier auch Körner frei liegen. Man kann daher nicht entscheiden, ob die Körner schon als Kalzitkristalle eingeschwemmt wurden, oder ob das ganze metasomatische Abbildung einer schon vorgezeichneten Rhythmik ist. Es scheint das letztere wahrscheinlicher, da sonst nirgends Kalzitkristallsande oder Pelite gefunden werden. Zwischen den Kalzitkristallen liegen Splitter mit stellenweise sehr deutlicher organischer Struktur; diese lösen sich in HCl nicht, sie zeigen die Interferenzfarben von Quarz, oder erscheinen glasig. Es sind wahrscheinlich Hornsteine, oft sind sie von einem schwarzen oder dunkelrotem Pigment durchsetzt. Dieser Organodetritus kann bis zu 1 mm groß werden und liegt polar auf dem feinkörnigen Teil der Feinschicht. Blättchenförmige Partikel stellen sich nicht in das s der Feinschichtung ein, sondern schräg dazu, so daß sie schuppig übereinanderliegen, sowie man das bei flachen Geschieben auf Flußschotterbänken beobachten kann. Aus diesem Gefüge läßt sich eine Strömungsrichtung ablesen. Die annähernde Lage der Blättchen wurde konstruktiv gewonnen, in ein Projektionsnetz eingetragen und das ganze um 90 Grad um die EW-Achse rotiert, so daß die ursprüngliche Lage wiederhergestellt war. Es läßt sich dann ein Strömungsvektor aus der NW-Richtung ablesen. Diese Strömungsrichtung hat wahrscheinlich nur lokale Bedeutung, es sollte hier nur das Methodische gezeigt werden. Auch die Bildung der Kreuzschichtung zeigt Strömung an; diese ist aber im Handstück so undeutlich, daß keine sicheren Schlüsse auf die Richtung gezogen werden können.

Eingebettet in den Sandstein liegen einige größere Komponenten, 1—4 cm eckige Trümmer roter Hallstätter Kalk. Eine dieser Komponenten dürfte, wie man aus den Eindrücken auf der liegenden Feinschicht sieht, etwas gerollt sein.

Der untere Teil der Linse besteht aus hellrotem Kalk mit massenhaft Ammonitengehäusen. Die Lage der Gehäuse zeigt eine gewisse Regelung, die Medianebenen der Ammoniten liegen bevorzugt senk-

recht zum allgemeinen *s*. In den Gehäusen kommt es fast immer zur Ausbildung von *gpt.* Hohlraumsedimenten. Die *s* der einzelnen Gehäuse untereinander sind nicht verkippt. Der Pelit des Hohlraumsedimentes ist in das Gehäuse eingeschwemmt und frei sedimentiert. Dagegen sieht man aber auch an vielen Stellen, wie Pelit seitlich von der Einbettungsmasse in das Gehäuse einfließt, ohne daß das Gehäuse selbst verkippt wird (am *gpt.*-Gef. kontrollierbar). Man kann daraus folgendes über den Zustand des Einbettungsmaterials schließen: 1. der Pelit war so teilbeweglich, daß er in jedes zerstörte Gehäuse eindrang, 2. nach Bildung des Hohlraumsedimentes wurde das Gehäuse nicht mehr verkippt, innerhalb des Pelites fanden keine größeren Fließbewegungen statt. In den hellroten Kalken liegen schlierig-dunkelrote Einlagerungen und Knollenbildungen. Das ganze Gestein ist sehr reich an Globigerinen und Foraminiferen überhaupt, sehr häufig sind auch die schon von Heinrich beschriebenen braunen Tupfen, die von zerstörten Globigerinen herrühren. Hier möchte ich erwähnen, daß das Vorkommen von Foraminiferen in dieser Schicht zwar recht häufig ist, daß aber im größten Teil des Astraturites figurierter *Organodetritus* recht selten ist.

Aus der Form der beschriebenen Linse, sowie aus der Lage der *gpt.* Hohlraumfüllungen geht ihre Entstehung klar hervor.

Ein Riß in der Sedimentdecke wurde durch Pelit ausgefüllt; dabei diente die Kluft als Falle für vorbeitreibende Ammonitengehäuse, diese werden daher angereichert. Beim Absinken stellt sich die Medianebene der Gehäuse senkrecht *s*, oder sie kippt ganz um und liegt in *s*. Nachdem die Kluft gefüllt war, wird entweder ein Teil wieder ausgewaschen, oder auch die Kluft klappt weiter. Der neue Raum wird mit gröberem Material erneut rhythmisch ausgefüllt. Bei dieser Sedimentation herrscht eine so starke Strömung, daß es zur Abbildung eines Strömungsvektors kommt. Die schon erwähnten Schleppungen der Feinschichten am Rand der Kluft können durch Reibung beim Einsedimentieren entstanden sein, sie zeigen nach oben.

Zwischen den Kögeln fehlt rhythmische Schichtung, dafür wären zwei Ursachen denkbar: 1. es gibt gar keine rhythmischen Sedimentationsbedingungen (Fehlen des Diktators, oder Fehlen der Variablen), 2. die Bedingungen wären zwar da, aber sie werden nicht aufgezeichnet, weil sie dauernd zerstört werden (zum Beispiel von einer den Schlamm durcharbeitenden Bodenfauna). Ich werde zeigen, daß frühe (paradiagenetische) Bewegungen die Ausbildung einer Schichtung verhinderten.

In fast allen Präparaten habe ich *s*-Gefüge gefunden. An vielen Stellen finden sich flache Schalenfragmente, meistens von kleinen Muscheln, die mehr oder weniger gut ein *s* markieren. An einigen Stellen, wo diese Regelung nicht mehr gut zu sehen war, wurde versuchsweise *s* durch die statistische Auswertung der Muschellagen bestimmt. Es wurde dabei folgendermaßen vorgegangen: in zwei zueinander senkrechten Anschliffen wurde je eine beliebige Bezugsgerade gewählt, und die Winkel von 38 Schälchen gegen diese Gerade gemessen, gemittelt, und daraus *s* konstruktiv gewonnen. Es ergab schon diese geringe Zahl von gemessenen Werten ein genügend

scharfes Maximum. Geht man von der Annahme aus, daß ursprünglich alle flachen Schälchen so sedimentierten, daß sich ihre Ebenen in das allgemeine  $s$  einstellen, was bei ruhigem Absinken sicher zutrifft, dann sind alle späteren Bewegungen erst im Pelit erfolgt und man hat so ein Mittel in der Hand, diese Bewegungen zu kontrollieren. Es wurden die Schälchen auf einem ungedeckten Dünnschliff nachgezeichnet, dann die einzelnen Striche, die die Schälchenquerschnitte repräsentieren, zwanglos durch Linienzüge verbunden. Man bekommt dann gewissermaßen die Stromlinien des bewegten Pelites, das Bild ist zum Teil äußerst verwirrt, zum Teil lassen sich aber auch klar Bewegungen erkennen. Verkrümmungen, die eine Achse besitzen, also richtige Falten, sind von ungefaltetem vollkommen diskordant über- und unterlagert.

Manche Linien laufen in  $s$ , knicken dann und laufen senkrecht  $s$ , lassen sich dann nicht mehr weiter verfolgen. Stellen, die an Wirbelbildung erinnern, sind nicht selten. Man gewinnt den Eindruck, daß es sich um Deformationen in vollkommen plastischem Pelit handelt, indem die Schälchen passiv mitbewegt wurden. Durch das sedimentäre Gefüge wird ein genügendes Ausmaß an Anisotropie gewährleistet, diese ist aber nicht stark genug ausgeprägt, um lagenförmige Deformation zu bewirken, sondern die einzelnen Lagen fließen ganz ineinander über. Es ist daher auch keine Druckleitung über größere Bereiche möglich. Man muß beim Entstehen dieser Bewegungen vor allem plastisch fließende Bewegungen annehmen, etwa kleine Niveauunterschiede, die fließend ausgeglichen werden. Es wäre gut denkbar, daß so eine Durchbewegung des Bodens durch Tiefenwirkung des Wellenganges bewirkt werden kann, doch kann man darüber erst wohl Aufschluß gewinnen, wenn es einmal möglich sein wird, rezente Sedimente auf Gefüge zu untersuchen. Die Hohlraumsedimente eingebetteter Gehäuse stellen sich scharf in das allgemeine  $s$  ein. Die Hohlraumsedimentation erfolgte also erst nach der Durchbewegung.

Äußerst bezeichnend für die Hallstätter Kalke sind die dunkelroten Flecken und schlierigen Einlagerungen. Am E-Teil des „zwischen den Kögeln“ Fundplatzes findet man größere dunkelrote Einlagerungen, einen halben bis einen Meter breite Bänder, die quer durch das hellere Gestein ziehen, in einem Aufschluß senkrecht zum Streichen von  $s$ . Im hellrotem Gestein liegen scharf umgrenzt etwa handteller-große und größere dunkelrote Flecken, untereinander durch ein System von Kanälen verbunden. Die Ränder sind äußerst unregelmäßig, stark ausgefranst. Innerhalb des roten Pelites liegen etwa 2–3 cm große Ammonitengehäuse mit ausgezeichnetem gpt. Hohlraumsediment, die  $s$  stimmen scharf mit dem allgemeinen  $s$  überein. Man gewinnt sofort den Eindruck, daß es sich um ein Kluftsystem innerhalb des Sedimentes handelt, das stellenweise zu Höhlen erweitert ist. Man kann sich zunächst nicht denken, wie die großen Ammoniten durch die engen Kanäle in die Höhlen gelangten; dabei macht man den häufigen Fehler, dreidimensionale Gebilde nur zweidimensional zu betrachten. Eigens darauf gerichtete Untersuchungen (in durch alle Richtungen geführten Schnitten) ergaben, daß die Klüfte überall weit genug sind, große Ammoniten durchzulassen. Gleich-

zeitig findet man, daß das, was man im Aufschluß als höhlenartige Erweiterungen betrachtet, zum Teil nur zufällig vom Schnitt getroffene, zu diesem parallele Klüfte sind, aber es kommen auch richtige Erweiterungen vor.

Untersuchungen im An- und Dünnschliff. Sander bezeichnet in seiner Arbeit (28) Resedimente mit  $R_1$ ,  $R_2$  usw., wobei  $R_2$  wiederaufgearbeitetes  $R_1$  ist. Solche richtige Resedimente konnte ich in meinem Material nur selten nachweisen; bei mir findet sich im gleichen Bereich ein Sediment  $K_1$ , dann wird durch Internabtrag Platz geschaffen, und in  $K_1$  sedimentiert  $K_2$ , wobei sich nicht nachweisen läßt, ob  $K_2$  wiederaufgearbeitetes  $K_1$  ist oder etwas anderes.



Abb. 8.

Vergr. ca. 40fach.  $K_2$  liegt geopetal in einer durch Internabtragung erweiterten Höhle in  $K_1$ . Links wird die Grenze  $K_1$  gegen  $K_2$  durch ein Muschelschälchen gebildet.

Ich bezeichne daher mit  $K_1$ ,  $K_2$  usw. zeitlich verschiedene geologisch einzeitige Sedimente im gleichen Bereich (siehe Abb. 8). Nur in manchen Fällen läßt es sich nachweisen, daß  $K_2$  wiederaufgearbeitetes  $K_1$  ist, dann spricht man von Resedimentation.

Es ließ sich nachweisen, daß die Roteinlagerungen  $K_2$  relativ später als die hellroten Kalke  $K_1$  abgelagert wurden. Die Hohlräume in  $K_1$  sind an manchen Stellen durch eckigen Bruch gebildet, meist aber durch chemischen Internabtrag. Chemischer Internabtrag = Mikroverkarstung (wie bei Sander, 28) ist kenntlich an den unregelmäßig angefrissenen Rändern der Klüfte. Kluft und Höhlensystem lassen sich meist über den ganzen Anschliff verfolgen. In dieses System gelangt  $K_2$  zur Ablagerung, der rote Pelit dringt in die Klüfte, dabei werden die Klüfte neuerlich angegriffen, das Kluftsystem

wird geweitet,  $K_1$  von den Rändern wird aufgearbeitet, und schwimmt zum Teil als eckige Komponente (Resediment) in  $K_2$ , so das jüngere Alter von  $K_2$  beweisend.  $K_1$  und  $K_2$  kann so miteinander vermischt sein, daß ein neuer Sedimenttypus entsteht, ähnlich wie das bei Ganggesteinen in der Kontaktzone der Fall ist. Nachdem die Klüfte mit  $K_2$  gefüllt sind, setzt erneuter Internabtrag ein, kleine Höhlen, 5 bis 10 mm; diese Höhlen werden mit ausgezeichnet gpt. Hohlraumsediment  $K_3$  gefüllt.  $K_2$  wird von diesem zweiten Internabtrag stärker betroffen vielleicht deshalb, weil  $K_1$  zu dieser Zeit schon stärker verfestigt war, vielleicht aber auch nur, weil  $K_1$  überhaupt dichter ist. Während in  $K_1$  fast überall s-Gefüge zu finden sind, fehlen solche in  $K_2$  fast ganz. Die Schälchen liegen im Fallen und Streichen der Klüfte.

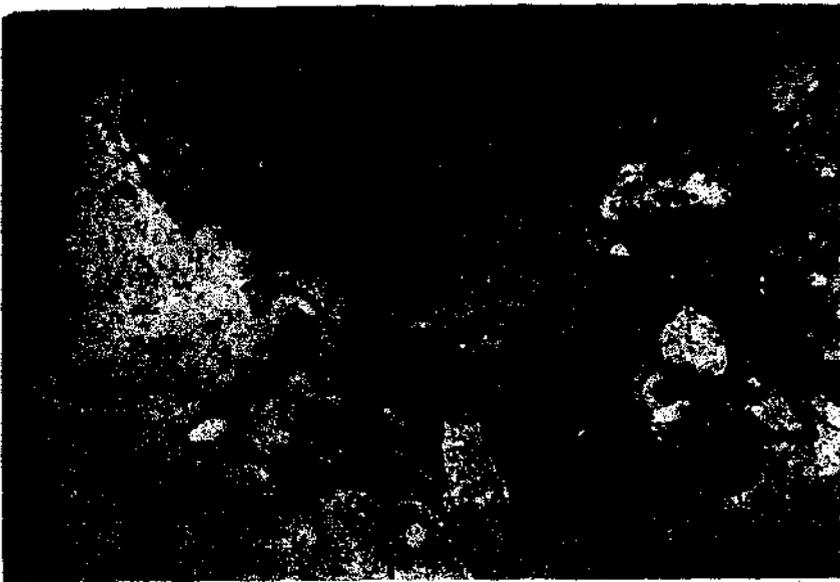


Abb. 9.

Vergrößerung (Negativ) eines Dünnschliffes, ca. 3fach. Mehrfachsediment  $K_2$  (im Negativ hell) zeigt deutlich Fließgefüge. Zahlreiche Ammonitengehäuse mit geopetalen Hohlraumsedimenten, welche das Ablesen von oben und unten gestatten.

Besonders deutlich wird dieser Unterschied an der Grenze von  $K_1$  und  $K_2$ ; in  $K_1$  ist das allgemeine s gut ausgeprägt, alle Schälchen in  $K_2$  liegen senkrecht s, sie liegen parallel der Richtung des einströmenden Pelites (siehe Abb. 9).

Das Bild des Fließens wird durch andere Gefügebilder noch vervollständigt und bewiesen. An Stellen, wo der Rand gegen  $K_1$  unregelmäßig ausgebuchtet ist, legen sich die Schälchen von  $K_2$  ganz in diese Ausbuchtungen hinein, so die Stromlinien des einfließenden Pelites abbildend. An einem Vorsprung des Randes liegen die Schälchen gestaut, und dahinter ganz unregelmäßig, eine Lagerung, die man als Wirbelbildung deuten könnte. In einigen Präparaten kann man sehen, wie die Schälchen ebenso schuppig übereinanderliegen, wie in der beschriebenen Linse, es handelt sich auch hier um ein vektorielles Gefüge; allerdings einen Bewegungssinn der Relativbewegungen kann man nicht ablesen.

Am Rand, noch innerhalb von  $K_1$  liegen zwei Schälchen, einen Hohlraum ausssparend,  $K_2$  dringt in diesen Hohlraum ein und erfüllt diesen ganz. In der Regel ragen keine größeren Organreste aus  $K_1$  in  $K_2$ , auch ein Beweis dafür, daß  $K_2$  nicht physikalisch, wohl aber geologisch einzzeitig mit  $K_1$  sedimentiert wurde. An wenigen Stellen bilden Gehäuse, die zum größeren Teil in  $K_1$  liegen, Vorsprünge gegen  $K_2$ ; solche Vorsprünge können bei der mechanischen Auswaschung der Klüfte entstanden sein,  $K_2$  fließt um solche Vorsprünge herum. Manchmal ist auch in  $K_2$  ein s-Gefüge ausgebildet, das mit dem allgemeinen s übereinstimmt. Nur an den Rändern gegen  $K_1$  liegen die Schälchen parallel zu den Rändern, das sind Schleppungen, durch Wandreibung beim Einfließen des Pelites bedingt. Innerhalb  $K_2$  liegen Ammonitengehäuse, deren Hohlraum s, wie schon erwähnt, mit dem allgemeinen s zusammenfällt (siehe Abb. 10). Es wurde also erst eingestellt, nachdem sich das Gehäuse in Ruhe befand.



Abb. 10.

Vergr. ca. 3fach (Negativ). Untereinander nicht verstellte Hohlraum „s“. Beim Pfeil links oben ein durch Internabtrag geschaffener Hohlraum, in den sich  $K_2$  geopetal einstellt. In der Umrandung liegt ein Schlickgeröll, an dessen Obergrenze nach Ablagerung mechanische Externanlagerung stattfand.

Es können aber auch Fälle beobachtet werden, bei denen das Gehäuse s gegen das allgemeine s verkippt ist; unter diesen Fällen kann man wieder zwei Arten beobachten: a) solche, bei denen die Gehäuse s untereinander übereinstimmen, aber insgesamt gegen das allgemeine s verstellt sind, was eine Verkipfung im größeren Verband bedeutet, also zum Beispiel durch gleichgerichtetes Fließen, und b) der häufigere Fall, auch die Gehäuse s untereinander stimmen nicht überein, also jedes Gehäuse führt nach der Bildung des Hohlraumsedimentes eigene Bewegungen im Schlamm aus. Ist die Hohlraumsedimentation während des Kippens noch nicht abgeschlossen, dann entstehen im Inneren des Gehäuses mehrere s, die die jeweilige Lage des Gehäuses markieren. Besonders schön war dies in einem Fall zu sehen: ein flaches Ammonitengehäuse sinkt ab, beim Absinken im Wasser stellt sich die Medianebene des Gehäuses senkrecht zum allgemeinen s (die Sym-

metrie des Sinkkörpers stimmt mit der Symmetrie der Bewegung überein), am Grund angekommen, bleibt das Gehäuse zunächst in dieser Lage im Schlamm stecken, ein Gehäuse  $s$  markiert diese Lage. Das Gehäuse hat aber das Bestreben, seinen Schwerpunkt in eine stabilere Lage zu bringen, das heißt, seine Medianebene parallel  $s$  einzurufen, das Gehäuse wird kippen, die Hohlraumsedimentation dauert dabei an, die stetig immer mehr verkippten Gehäuse  $s$  zeichnen diesen Vorgang auf. Der Schluß, den man daraus ziehen kann, ist wiederum, der Pelit war so teilbeweglich, daß die Schale in ihm Relativbewegungen ausführen konnte.

Nachdem so die deutlich schon im Anschluß sichtbaren Rot-einlagerungen untersucht waren, zeigte es sich, daß solche Mehrfachsedimentationen überall vorkommen. Die meisten roten Flecken und Bänder, die dem Hallstätter Kalk sein bekanntes „marmorartiges“

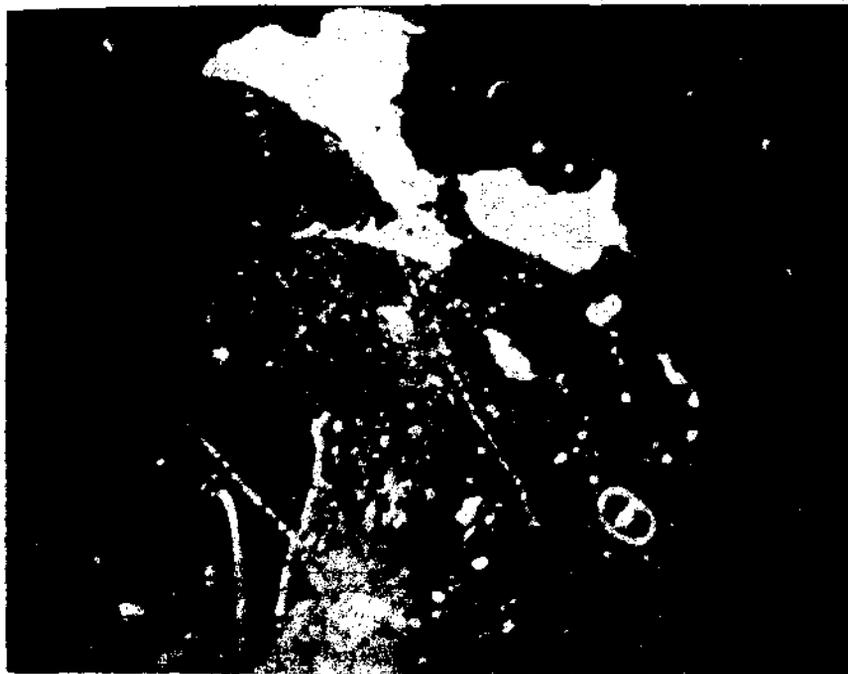


Abb. 11.

Vergr. ca. 30fach. Dreifachsedimentation. Höhle in  $K_2$  wird mit geschichteten  $K_3$  gefüllt, erneuter Internabtrag zum Teil mit  $K_4$  gefüllt,  $K_4$  ist Resediment von  $K_3$ .

Aussehen geben, sind Rotpelite, die in das Sediment eingelagert wurden und dann wegen ihrer höheren Teilbeweglichkeit umgelagert werden und meist als  $K_2$  in  $K_1$  liegen. Häufig sind 1–5 cm große Höhlen, die Ränder teils scharf mit den typischen Zeichen eines chemischen Internabtrages, teils aber auch vollkommen plastisch verschwimmend und verschmiert. Auch hier wird  $K_2$  von erneutem Internabtrag ergriffen und die so entstandenen Höhlen mit  $K_3$  gefüllt. Die Sedimentation von  $K_3$  erfolgt in mehreren Fällen in zwei deutlich unterscheidbaren Schüben, so daß das gpt.  $K_3$  geschichtet ist. Ein aus zwei Schichten bestehendes  $K_3$  wird von weiterem Internabtrag angefaßt, in der neu entstandenen Vertiefung mischen sich die zwei Schichten,

und werden als Resediment  $K_4$  angelagert.  $K_4$  liegt wieder gpt., so daß Höhlensediment in Höhlensediment liegt (siehe Abb. 11).

Man kann diese Gliederung in fast allen Präparaten sehr weit treiben, sie hat den Sinn zu zeigen, wie das einmal abgelagerte Sediment nicht ruhig liegen bleibt, sondern ständig ausgewaschen und ausgelaugt wird, wie sich neue Sedimente in die Hohlräume lagern, diese wieder weitertransportiert und umgelagert werden. Die nach dieser vielfachen Sedimentation noch übrig gebliebenen Hohlräume werden dann von klaren Lösungen durchflossen und mit Kalzitkristallen gefüllt. In einigen Fällen setzen sich die Kalzite mit Regelung der Achse  $c$  senkrecht auf die Anwachsfläche, diese mit einem 0.5 mm mächtigen Rasen überziehend, das Restlumen wird von grobspätigen Kristallen erfüllt.

Die Sedimente  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  unterscheiden sich vor allem auffällig durch ihre Farbe, es zeigt sich dabei eine gewisse Gesetzmäßigkeit.  $K_1$  ist meist hellrot bis weiß,  $K_2$  dunkelrot und  $K_3$  grau bis farblos. Diese Regel bedeutet, daß die Bildung von  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  immer unter denselben Umständen erfolgte, und zwar physikalisch nacheinander, aber geologisch einzzeitig in dem mit einem stetigen Namen bezeichneten Bereich; die Hallstätter Kalke der oberen Trias  $K_1$  und  $K_2$  werden noch genauer durch die Bestimmung der Korngrößen gekennzeichnet, es wurde der Versuch unternommen, für  $K_1$  und  $K_2$  Korngrößenverteilungskurven zu gewinnen (siehe Abb. 12, 13).

Hierzu möchte ich einiges bemerken. Stellt man sich eine Masse vor, in der Kugeln mit verschiedenem Radius schwimmen (also zum Beispiel ein Konglomerat), ist es dann möglich, aus der Verteilung der Radien der Schnittkreise, bei beliebig geführttem Schnitt, die Anzahl der Kugeln, die einer bestimmten Radiusklasse zukommen, zu ermitteln. Man muß sich dabei vergegenwärtigen, daß schon ein Konglomerat, das nur eine Kugelgröße  $R$  enthält, Schnittkreise von Radius  $0-R$  ergibt. Die theoretische Behandlung des Problems zeigt, daß es möglich ist, auch für Kugelgemische mit  $n$ -Radienklassen Verteilungskurven zu errechnen; genauere Untersuchungen darüber möchte ich mir noch vorbehalten.

Es zeigt sich, daß die Schwierigkeit, die ein beliebiger Schnitt mit sich bringt, bei Korngrößen von  $10-1\mu$  im Dünnschliff hinfällig wird, denn die kleinen Körner des Dünnschliffes, wie man bei schrägem Aufricht sieht, werden, wenn der Schliff nicht allzu dünn ist, gar nicht geschnitten, sondern durch das Schleifmittel einfach abgehoben. Man sieht also das ganze Korn; durch leichte Betätigung der Mikrometerschraube stellt man automatisch den größten Korndurchmesser ein. Es wurden fünf leicht typisierbare Korngrößenklassen aufgestellt und ihre Beteiligung in bestimmten Bereichen ausgezählt. Gearbeitet wurde mit Immersion (1000fach), zum Okularmikrometer wurde zur Erleichterung des Auszählens ein quadratisches Netz gelegt. Die Verteilungskurven wurden dann in Säulendarstellung gezeichnet, wobei zu beachten ist, daß die Beteiligungswerte in der zum Beispiel bei Correns (7) angegebenen Weise auf die Korndurchmesser umgerechnet werden.

Über die Richtigkeit der gewonnenen Kurven ist folgendes zu sagen. Die Körner liegen keineswegs homogen verteilt, so daß dadurch die Messung erschwert wird und schon dadurch Fehler hereinkommen.

Der Auflösung des Mikroskopes sind Grenzen gezogen; Körner, die unter  $1\mu$  liegen, werden entweder überhaupt nicht aufgelöst, oder gerade noch erkannt und unwillkürlich zur kleinsten Klasse geschlagen, so daß diese unwirklich vergrößert wird. Andererseits werden Körner, die größer sind als das Blickfeld der Immersion, überhaupt

nicht erfaßt. Man sieht also, daß den gewonnenen Kurven keine absolute Richtigkeit zukommt, dagegen scheinen sie sehr tauglich Sedimente zu vergleichen, vor allem, wenn die Messungen von dem gleichen Beobachter durchgeführt werden.

ABB. 13  
KORNGRÖSSEN-  
VERTEILUNG  
K<sub>2</sub>

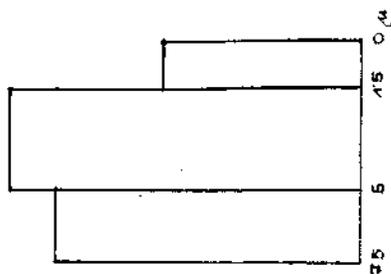


ABB. 12  
KORNGRÖSSEN-  
VERTEILUNG  
K<sub>1</sub>



Betrachtet man die beiden Kurven von K<sub>1</sub> und K<sub>2</sub>, fällt der Unterschied sofort in die Augen. Auffällig ist, daß auch hier die von Sander (28) angegebene Regel der Kornvergrößerung bei Mehrfachsedimentation zutrifft.

Späte Sprünge und Rupturen. Auch die Astraturite des Sommeraukogels werden von einem Rupturennetz nachdiagenetischer tektonischer Sprünge durchsetzt. Aus Handstücken wurden typische,

parallel laufende Sprünge in ein Netz eingetragen. Zur Messung zeigten sich leider nur 6 über den ganzen Sommeraukogelbereich liegende Proben geeignet (da solche Messungen bei der Probeentnahme noch nicht vorgesehen waren), aber es ergaben schon die wenigen Messungen gute Maxima. Da nur die senkrechten Klüfte eingetragen wurden, erscheinen sie alle in der Projektion in ihrem Streichen. Neben den vertikalen wurden auch genau horizontale Sprungsysteme festgestellt. Deutlich bevorzugt sind N—S-Sprünge (siehe Abb. 14, I), also bei dem allgemeinen N—S-Bau ac-Sprünge zu der Sommeraukogelantiklinale, in einem Fall läuft genau senkrecht zu den ac-Sprünge ein b-Sprungsystem. Ein weiteres Maximum liegt 60 E (Abb. 14, II). Alle gemessenen Sprünge sind gleich alt.

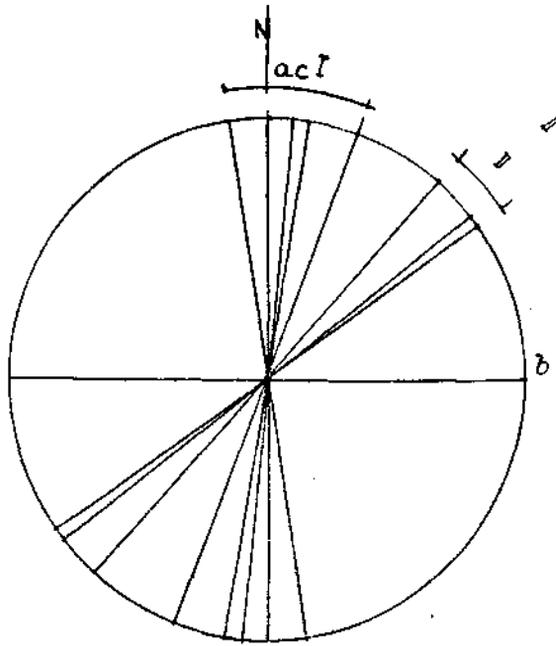


Abb 14.

Über das Maximum 60 E kann man bei der geringen Anzahl von Messungen nichts aussagen, es kann lokal bedingt sein. Eindeutig geht hervor, daß die untersuchten Sprünge dem heutigen tektonischen Bau zuordenbar sind. Im Dünnschliff zeigt sich, daß die tektonischen Sprünge durch späten Kalzit verheilt sind; die Sprünge sind scharf, so wie man sie bei einem vollkommen verfestigten Gestein erwarten würde, unmittelbar neben dem Hauptsprung verlaufen oft parallel feinste Sprünge, Sprünge spitzen entweder aus, oder auch sie enden, indem sie ein feines Parallelsystem ausfiedern, welches dann vom Sprungende etwas weiter reicht. Zeitlich später kommen suturierte Sprünge, und Styolitenbildungen. Beide ließen sich bei allerdings sehr beschränktem Material nicht dem tektonischen Bau zuordnen.

## 6. Der Hallstätter Kalk des Siriuskogel

Der ungeschichtete Hallstätter Kalk des Siriuskogel südlich Ischl ist durch seine schönen Versteinerungen, besonders *Monotis salinaria*, bekannt. Von der S- und SE-Seite des ca. 100m mächtigen Kalkes wurden Proben genommen. Das Gestein, das keine Rotfärbung zeigt, sieht oft ganz wie Dachsteinkalk aus. Auffallend sind Sinterbildungen, die zunächst ganz wie Großoolithe aussehen. Im An- und Dünnschliff sieht man, daß es sich um rhythmische Kalzitfüllungen handelt, wobei die c-Achse der Kalzite aber nicht wie bei Großoolithen parallel, sondern senkrecht der Anwachsfläche steht, also gewöhnliches Kalzitrasengefüge. Was darüber entscheidet, ob c senkrecht oder parallel s steht, ist noch ungeklärt, trotzdem dürften die Sinterbildungen des Siriuskogel nah mit den Großoolithbildungen verwandt sein. Auch am Siriuskogel wachsen die Hohlräume von der Wand her zu, dabei werden auch ganz wie bei den Großoolithen die Hohlräume nicht ganz von Rasen ausgefüllt, sondern die Resthöhle ist von grobspätigem Kalzit erfüllt. Die Unterbrechungen im Rasenwachstum werden durch rhythmische Peliteinschwemmungen bewirkt, es kommt dabei oft vor, daß der neue Rasen mit Büschelwachstum beginnt, so auch die Wachstumsrichtung erkennen lassend (wie bei Schmie degg, 31).

In vielen Fällen setzt das Zuwachsen der Hohlräume mit geringer Rotschlammzufuhr ein, die sich später noch ein paar mal wiederholen kann. Die gleichen Höhlen können auch mit Monotisschalen gefüllt sein.

Die Schalen liegen sehr locker, jede einzelne Schale ist mit einem dicken Kalzitrasen überzogen. Sinterfüllung und Muscheln übernehmen hier im Gefüge die Rolle von  $K_2$  der Sommeraukogel-Astraturite.

Es kommt vor, daß die Sinter noch während ihrer Bildung zerbrechen; in einem Stück wurde durch so eine Zerbrechung der restliche Hohlraum in zwei Teilhöhlen getrennt, die in vollkommen gleicher Rhythmik von Kalzitrasen gefüllt werden. Die Korrelation der einzelnen Rhythmen wird durch zwei Rotschlammhorizonte innerhalb des Kalzitrasengefüges erleichtert. Sprünge, die während der Bildung des Sinters entstanden sind und aus dem umgebenden Gestein in diesen hineinragen, sind nicht selten. Solche Klüfte, deren Relativalter genau bestimmbar ist, sind selbst rhythmisch mit wandständigem Kalzit verheilt. Sie lassen an ihrer Mündung in den Sinter erkennen, wie einzelne Rasenschichten in die Kluft abbiegen, so daß auch das Verwachsen der Kluft zeitlich festgelegt ist. Diese Klüfte sind wahrscheinlich gleich alt mit den vom Steinbergkogel beschriebenen Klüften, die dort anlässlich der Breccienbildung entstehen. Auch am Siriuskogel wurde Breccienbildung beobachtet, jedoch ließ sich Gleichaltrigkeit mit den beschriebenen Sprüngen nicht nachweisen. Zeitlich nach den Klüften setzt Internabtrag ein, ein mit dem Internabtrag gleichalter Sprung reißt eine der rhythmisch verheilten Klüfte erneut auf, so das geringere Alter des Internabtrages beweisend. Der jüngere Sprung wird mit spätigem Kalzit verheilt. Die von dem Internabtrag geschaffenen Höhlen füllen sich mit einem ein-

maligen Kalzitrasen und im Restlumen mit klarem Kalzit. Zur Ausbildung eines Hohlraumsedimentes kommt es nur in ganz wenigen Fällen, das zirkulierende Wasser dürfte daher sehr klar gewesen sein.

An der SE-Seite des Siriuskogels wurde eine Probe genommen, in der eine kräftig dunkelrote Einlagerung zu sehen ist. Diese Rotfärbung erwies sich als eine sekundäre Rotfärbung, da sie das ursprüngliche Gefüge gar nicht beeinflusst. In der gleichen Probe liegen aber Rotschlammte auch als Hohlraumsedimente (primäre Rotfärbung siehe später). Im allgemeinen sind aber Rotfärbungen in den Siriuskalken selten. Man kann darin und in den beschriebenen Hohlraumsintern eine Annäherung an die Dachsteiriffazies erblicken.

## II. Auswertung der Gefügebefunde.

In diesem Teil der Arbeit sollen noch einmal die Gefügebefunde zusammengefaßt werden, und es soll versucht werden zu zeigen, was sich über die Art des Bildungsraumes erschließen läßt. Naturgemäß ist dieser Teil der Arbeit oft mehr hypothetischer Natur, aber es wurde darauf geachtet, immer das sicher Gewonnene herauszuheben und zu kennzeichnen.

So umstritten die tektonische Stellung der Hallstätter Kalke ist, über ihr eigentliches Zustandekommen wurde nicht viel geschrieben. Der Großteil der älteren Autoren sehen in den Hallstätter Kalken ein Sediment, das im Vergleich zu den übrigen Triasgesteinen in verhältnismäßig tieferen Becken zum Absatz gelangte. Mojsisovics (22, 23), der als erster den Unterschied zwischen Hallstätter- und Hochgebirgsentwicklung erkannt hat, nimmt an, daß sich der Hallstätter Kalk in verhältnismäßig tiefen Gräben zwischen den Riffen des Wettersteinkalkes und Dachsteinkalkes abgelagerte. Wäbner, Haug, Uhlig (nach Diener, 8) rechnen die Hallstätter Kalke zu den bathyalen Bildungen. F. F. Hahn (13) ist von der Tieferlegung des Hallstätter Beckens überzeugt. A. Heinrich (15) untersucht die Mikrofauna des Rötthelsteines, er ist, so viel ich weiß, der einzige, der Dünnschliffe beschreibt; er kommt zu dem Ergebnis, der Hallstätter Kalk sei ein fossiles Globigerinensediment, Globigerinensedimente sind charakteristisch für eine Tiefe von 2700—4500 m. Kober (18) schließt sich dieser Ansicht an. Dagegen E. Kocken (17) und J. Walther (41) vertreten die Flachseenatur der Hallstätter Kalke. Nach Kocken spricht die Gastropodenfauna mit auf Klippenbrandung in bewegtem Wasser zurückzuführenden Schalenverletzungen für das Leben auf einem felsigen Boden. J. Walther betrachtet die Ammonitenester und Cephalopodenlinsen in den Hallstätter Kalken als Ausfüllungen von Spalten und Lücken in Triasriffen, ein Bild, das, wie ich zeigen werde, sehr zutreffend ist. Auch für Lachmann (nach Diener, 8) sind die Hallstätter Kalke ein Seichtwassersediment. Diener (8) hält die Hallstätter Kalke für ein Foraminiferensediment, das sich in verschiedenen Tiefen, aber stets ohne Zufuhr von terrigenem Material bildete.

Leuchs & Udluft (20), auch H. Schmidt (32) sehen in den Hallstätter Kalken ein in geringer Tiefe abgelagertes Sediment.

### a) Die Mächtigkeit der Hallstätter Kalke.

Für die größere Tiefe des Ablagerungsraumes soll die geringere Mächtigkeit des Sedimentes sprechen. Aus den Mächtigkeiten bestimmter Sedimentserien ließe sich, wenn man ihre Bildungszeit kennen würde, ohne weiteres der jährliche Sedimentationsbetrag errechnen. Die Dauer der gesamten Triasperiode errechnet O. Hahn (14)

aus den Zerfallszeiten radioaktiver Minerale zu  $72 \cdot 10^6$  Jahre; schätzt man demnach die Dauer der oberen Trias auf  $30 \cdot 10^6$  Jahre, so errechnet sich daraus für eine Mächtigkeit von 1400 m Dachsteinkalk ein jährlicher Sedimentationsbetrag von 0.047 mm und für die Hallstätter Kalke mit der äquivalenten Mächtigkeit von 350 m, ein Wert von 0.012 mm. Das sind sicher untere Grenzwerte, denn erstens wurde die Dauer der Obertrias reichlich lang angenommen, und zweitens wird jeder Fehler durch Unterbrechung der Sedimentation im Sinne eines zu kleinwerden des gefundenen Wertes eingehen, im gleichen Sinne würde sich auch eine Reduktion der gesamten Mächtigkeit durch tektonische Vorgänge auswirken.

Im Gegensatz zu diesen Überlegungen spielt aber gerade der geschätzte jährliche Sedimentationsbetrag in den Spekulationen um die geologische Zeitrechnung eine große Rolle.

Will man die mm-Rhythmik des Dachsteinkalkes, wie Sander (28), als Jahresrhythmik deuten, und dafür spricht die Größenordnung und Regelmäßigkeit dieser Rhythmik, so kommt man auf eine kürzere Dauer der Obertrias. Nach den ersten Schätzungen würde sie rund  $7 \cdot 10^6$  Jahre gedauert haben; genauere Untersuchungen sollen einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben.

Bei dieser so unexakten Forschung bleibt nichts anderes übrig, als die gewonnenen Resultate immer wieder zu vergleichen.

Kurz vor Fertigstellung meiner Arbeit erschien Bubnoffs (6) Zusammenfassung dieser Fragen, so daß die folgende Zusammenstellung jährlicher Sedimentationsbeträge aus seiner Arbeit ergänzt werden konnte. Bei der Sedimentationsgeschwindigkeit der fossilen Gesteine handelt es sich natürlich um mehr oder weniger sichere Werte, die aus hypothetischen Überlegungen gewonnen wurden.

	Verfestigte fossile Gesteine	Nicht- verfestigte rezente Gesteine
Vierwaldstättersee (11) . . . . .		15.0—80 mm
Lunzersee im Schweb. (11) . . . . .		1.8 "
Norwegische Fjorde (nach 4) . . . . .		2.6 "
Schwarzes Meer (1) . . . . .		0.2 "
Blauschlick (33) . . . . .		0.018 "
Globigerinenschlamm (33) . . . . .		0.012 "
Roter Tiefseeschlamm (33) . . . . .		0.008 "
Sollenhofer Plattenkalk (nach 6) . . . . .	50 mm	
Unterkarbon, Thüringen (Küstennah) (19) . . . . .	3.04 "	
Dachsteinkalk . . . . .	1 — 2 "	
Bannisdale Schiefer unter Ludlow (nach 6) . . . . .	2.1 "	
Monotiskalk Hallstatt . . . . .	0.2 "	
Monterryformation (4) . . . . .	0.2—0.1 "	(0.4—0.8 mm)
Jungpaläozoikum Amerika (nach 6) . . . . .	0.18 "	

Beim Vergleich rezenter Werte mit fossilen ist zu beachten, daß letztere Durchschnittswerte über viel größere Zeitbereiche darstellen. Die Sedimente erfahren während der Verfestigung eine erhebliche Zusammendrückung, nach Bramlette (4) beträgt die Zusammen-

pressung einer Schicht durch Kompaktion in der Montereyformation 3-4. In meinem Bereich konnte ich für den Wert der Kompaktion keinen sicheren Anhalt finden, doch scheint mir die Reduktion auf ein Viertel eher noch zu gering, als zu groß. Es fällt sofort auf, daß der Wert des Dachsteinkalkes im Vergleich zu den rezenten Werten groß ist. Um irgend einen genaueren Vergleich durchzuführen, haben wir noch viel zu wenig Vergleichsmaterial. Noch kennen wir ja die fossilen Sedimente beinahe besser als die rezenten. Eines ist sicher, aus der jährlichen Sedimentation der Hallstätter Kalke, also aus ihrer Mächtigkeit, kann man nicht auf die Bildungstiefe schließen. Man kann nur sagen: a) nach der hypothetischen Deutung der mm-Rhythmen des Dachsteinkalkes als Jahresrhythmen ist auch der Sedimentationsbetrag der Hallstätter Kalke am ehesten Seichtwassersedimentation zu vergleichen, b) es handelt sich gewiß nicht um eupelagische Tiefseesedimente. Die geringere Mächtigkeit des Hallstätter Kalkes (zirka ein Viertel des Dachsteinkalkes) kann vielleicht durch größere Tiefe, muß aber nicht durch solche bedingt sein. Man muß sich nur vor Augen halten, daß innerhalb des Dachsteinkalkes vollkommen andere Sedimentationsbedingungen herrschten, im Nor des Dachsteinkalkes ist biogene Anlagerung sicher stark beteiligt, während sie in den von mir untersuchten Teilen der Hallstätter Kalke vollkommen fehlt; es ist nicht einzusehen, warum Riffe nicht viermal schneller wachsen sollen, auch wenn sie sogar tiefer liegen als ein seichter Raum, in dem keine Riffbildung stattfindet. Auch darf man nicht vergessen, daß die Abnahme der Sedimentmächtigkeit mit der Tiefe nicht so sehr durch die Zunahme der Tiefe, als durch die Zunahme der Landferne bedingt ist.

Bei der Durchsicht meiner Dünnschliffe wurde darauf geachtet, ob sich irgendwo im Sediment außer Kalk auch noch fremde Mineralkörner finden. Es wurden häufig  $\text{SiO}_2$ -Splitter gefunden, die ich für Bruchstücke von Organismenreste halte. Andere Mineralkörner konnten unter dem Mikroskop nicht entdeckt werden. Von einigen Proben wurden Spektralanalysen gemacht, sie ergaben neben Ca, Mg, Si, Al, Fe, in Spuren Cu, Ag, Mn, B, Na, Ti, Zn, Pb. Von Leuchs & Udluft (20) gibt es einige Analysen roter Kalke, sie zeigen, daß die färbende Substanz im Rückstand bleibt, Leuchs nimmt an, daß die Substanz des Rückstandes von einem nahen Festland in das Sediment gelangte, wobei es unsicher bleibt, ob die Substanz als feste Komponente oder in Lösung transportiert wurde. Weiter vergleicht Leuchs Analysen von Hallstätter Kalken mit Analysen von roten Liaskalken, aus der guten Übereinstimmung der beiden schließt er auf geringe Bildungstiefe der Hallstätter Kalke, so wie er das für Liaskalke annimmt. Auf Leuchs' bedeutungsvolle Arbeit möchte ich noch zu sprechen kommen.

#### b) Die Färbung der Hallstätter Kalke.

Es mag sein, daß bei manchen Geologen beim Betrachten roter Kalke eine Assoziation zu roten Tiefseetonen aufkommt, das ist sicher

falsch; die roten Tiefseetone sind, wie ja allgemein bekannt, ein kalkfreies Sediment. Ganz allgemein bedeutet die rote Farbe Oxydation des Fe, nach H. Schmidt (32) gute Lüftung, also frischer Boden.

Es wurden in den Hallstätter Kalken zwei Arten von Rotfärbung unterschieden. Eine primäre, an das sedimentäre Gefüge gebundene, das heißt, gewisse Pelite werden schon als Rotschlamm abgelagert und eine sekundäre, die fleckig stellenweise belteropor das Gefüge später durchsetzt. In den Monotiskalken geht sekundäre Rotfärbung oft mit Muschelfeinschichtung; werden zwei Feinschichten durch Kräuselung einander genähert, springt die Rotfärbung von einer Feinschicht in die andere über, so den Charakter der sekundären Färbung beweisend. Sekundäre Rotfärbung kann durch schwankenden Fe-Gehalt bewirkt sein, an einigen Stellen aber, wie ich spektrographisch nachweisen konnte, bleibt der Fe-Gehalt gleich, nur Ag und Cu schwankt, es ist möglich, daß nur der Oxydationsgrad des Fe schwankt. Neben farbbringenden Rupturen gibt es auch farbentziehende, die Umgebung solcher Klüfte ist bis weiß entfärbt. Primäre Rotbringer können Pelite mit von Haus aus höherem Rot- (Fe) Gehalt sein, so die Pelite der Fuge, wahrscheinlich können auch Organismen das Gestein rot färben. Es ist auffallend, daß die roten Partien reich an Organodetritus sind, auch die schon von Heinrich (15) beschriebenen roten Tupfen, die beim Zerfall von Globigerinen entstehen, können in größerer Menge das Gestein rot färben. Weitere chemische Untersuchungen, wie solche von Udluft, wären von größter Bedeutung, allerdings müßten solche Untersuchungen Hand in Hand mit einer gefügekundlichen Analyse gehen, denn die Analyse eines genau definierten Bereiches hat viel mehr Bedeutung als eine Durchschnittsanalyse, das bedeutet, man müßte mit mikroanalytischen Methoden, oder was viel einfacher ist, spektralanalytisch arbeiten.

Heinrich (15) kommt, wie oben gezeigt, zu dem Ergebnis, daß die Hallstätter Kalke ein dem rezenten Globigerinenschlamm vergleichbares Sediment sind. Ein Befund, der nach meinem Material die Hallstätter Kalke keineswegs vollkommen kennzeichnet. Zwar kommen innerhalb der Straturite große Schichtkomplexe vor, die fast nur aus Globigerinen bestehen, dagegen sind aber in einem Großteil der von mir untersuchten Proben Globigerinen oder überhaupt Foraminiferen recht selten, oder sie fehlen überhaupt. Das soll nicht heißen, daß Foraminiferen nicht ein Hauptlieferant des Kalkes sein könnten, aber man kann diese Gesteine nicht Foraminiferengesteine (im Sinne von Schott & Correns, 33) nennen. Ganz unzulässig ist es aber auch, ein richtiges Foraminiferengestein zur Tiefenbestimmung mit rezenten Globigerinenschlamm zu vergleichen, da man die in offenen Weltmeeren gewonnenen Erfahrungen nicht ohne weiteres auf alpine Meere der Vergangenheit anwenden darf. Ähnlich wie man aus Radiolarienschichten nicht auf Tiefsee schließen kann. (Eine neue Zusammenstellung dieser Fragen in einer laufenden Arbeit von R. Weijnschenk über die Sonwendjochbreccie.)

Wir kommen also zu dem Schluß, daß die Beweise, die man für eine größere Bildungstiefe der Hallstätter Kalke anführt, nicht standhalten können.

### 1. Die Bildung der Monotisbank.

Häberle (12) hat die Entstehung von Muschelbänken untersucht. Er hat zwei Entstehungsarten unterschieden, entweder die Muscheln leben schon in Bänken, oder die Schalen werden zu einer Bank zusammengeschwemmt.

Monotiden leben nach O. Abel in Bänken, trotzdem bin ich zur Überzeugung gekommen, daß die beschriebene Monotisbank aus zusammengeschwemmten Schalen besteht. Dafür spricht die ausgezeichnete Einregelung der Schalen in s, eine Regelung, die nur durch Absedimentieren der Schalen zustande kommen konnte. Ebenso spricht die Feinschichtung für eine sedimentäre Entstehung der Bank, es wurden rhythmisch Muschelschalen und Pelit eingeschwemmt. Man kann sehr schwer sagen, ob die Monotisbank aus zerbrochenen Schalen oder aus guterhaltenen gebildet wurde, da sich die Muscheln makroskopisch meist nicht mehr erkennen lassen, an einigen Stellen konnte ich aber sicher unversehrte Exemplare finden. H. Schmidt (32) hält es für wahrscheinlich, daß die kleine dünnchalige Monotis in Tangwäldern lebte. Mit dieser Vorstellung läßt sich das Problem des Schalentransportes leicht lösen. Folgendes Bild erscheint mir wahrscheinlich. Große Tangmassen werden abgerissen und an bestimmten Stellen zusammengeschwemmt, die Schalen fallen ab und sinken ruhig zu Boden, wobei sie sich scharf in das allgemeine s einstellen. Das Abreißen der Tangwälder erfolgt rhythmisch, was viel Wahrscheinlichkeit für sich hat, in der Zwischenzeit wird immer eine feine Schicht roter Pelit sedimentiert, vielleicht ist aber auch nur die Einschwemmung des roten Pelites rhythmisch, das läßt sich jetzt nicht mehr entscheiden.

### 2. Die Monotislinsen.

Die Monotislinsen wurden als Spaltfüllungen gedeutet. Für die Entstehung solcher schmaler Spalten in noch nicht verfestigtem Pelit kommen verschiedene Möglichkeiten in Frage. Es könnten Zeugen untermeerischer Rutschungen sein, sowie sich auch bei Erdrutschen offene Spalten bilden, sie könnten aber auch durch seismische Erschütterungen entstanden sein, was bei der geringen Schalhärte noch unverfestigter Pelite durchaus denkbar wäre. Aus der Lagerung der Schalen kann man wahrscheinlich eine Strömung ablesen, sicher ist, daß die Schalen in die Spalten sedimentiert wurden, das geht aus den Schalen hervor, die am Rand der Spalte durch Wandreibung beim Absinken schräggestellt wurden. Die Anreicherung von Schalen in Vertiefungen kann man wieder mit Hilfe einer Bodenströmung erklären. Eine Bodenströmung streicht über die Sedimentoberfläche, sie führt Schalen mit sich und ladet diese in die Spalte ab. Dort liegen sie locker, ungetrübtes Wasser kann zirkulieren, alle Schalen werden mit klaren Kalzitkristallen überzogen.

### 3. Fossilanhäufungen im hellgrauen Kalk des Steinbergkogels.

Der klarste Beweis für eine beträchtliche Bodenströmung ergibt sich aus den Fossilagen in der Steinbergkogel-Westseite. Die Ammoniten zeigen vielfach gegeneinander verstellte, gpt. Hohlraumsedimente, sie sind also am Boden gerollt. Runde Pelitknollen wurden als Schlickgerölle gedeutet, für ihre Entstehung wurde eine Mindestströmung von 50—150 cm/sek. wahrscheinlich gemacht; es kommt nicht zur Ausbildung eines allgemeinen s, die Strömung war zu stark.

### 4. Astraturite und Knollenkalke des Sommeraukogels.

Im Profil des Sommeraukogels konnte gezeigt werden, wie aus feingeschichtetem, paradiagnetisch Undurchbewegtem, durch Zunahme der Durchbewegung, Knollenkalk, und schließlich vollkommener Astraturit hervorgeht. Es zeigt sich, daß höckerige Schichtflächen die Vorstufen zur Auflösung in einzelne Knollen sind und es wurde wahrscheinlich gemacht, daß solche höckerige Schichtflächen schon zur Zeit der Bildung Sedimentationsoberflächen waren. Ich halte es für wahrscheinlich, daß auch hier Wasserbewegungen mitbeteiligt waren, vor allem dort, wo einzelne Knollen aus dem Schichtverband gelöst und verstellt wurden. Außerordentlich bemerkenswert ist es, wie sehr der Hallstätter Kalk gerade durch die Knollenbildung an manche Liaskalke erinnert. Die Knollenbildung ist sicher ein wichtiges fazielles Merkmal, das leider noch nicht ganz ausgewertet werden kann.

Auch chemische Auslaugung kann Bodendurchbewegung erzeugen. Für Bodenströmung spricht wieder die Auffindung von Kreuzschichtung in der beschriebenen Linse. Klüfte und Höhlen wurden mit  $K_2$  gefüllt. Die Herkunft von  $K_2$  konnte aus dem Gefüge nicht sicher abgeleitet werden, doch spricht verschiedenes dafür, daß  $K_2$  nicht nur reines Resediment von  $K_1$  ist, sondern, daß  $K_2$  teilweise mit den in den Schichtfugen abgelagerten roten Peliten identisch ist. Von  $K_1$  und  $K_2$  wurden am gerichtsmethodischen Institut Wien von Doz. Ing. Mayer Spektrogramme aufgenommen, ich bin ihm hierfür und für Anleitung zum Auswerten der Aufnahmen zu großem Dank verpflichtet. Es wurde folgendermaßen vorgegangen: kleine, ca. stecknadelkopfgroße Stücke wurden gepulvert, auf Kohle bei Anregung nach Pfeilsticker abgefunkt, Primärspannung 220 V, Kurzschlußstrom 4 Amp., Abfunkzeit 2 Minuten. Die Aufnahmen wurden mit dem Zeiß-Spektrographen Q 24, durchgeführt. Proben wurden von verschiedenen Handstücken aus den Bereichen von  $K_1$  und  $K_2$  genommen. Die Methode läßt durch Vergleich der Linienintensität einen quantitativen Vergleich zu. Da nur auf Relativunterschiede Wert gelegt wurde, wurde von einem Vergleich mit Standardlösungen Abstand genommen, die erzielten Analysen sind daher keine absolut quantitativen.

	K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>
Ca	+	+	+	-	+
Mg	+	+	+	+	+
B	+	+	+	+	+
Si	+	+	+	+	+++
Al	+	+	+	+++	+
Cu	Spur	?	Spur	+	+++
Fe	Spur	0	0	+	+
Mn	0	0	0	+	+
Na	0	0	0	+	0

Man sieht deutlich die stoffliche Verschiedenheit von K<sub>1</sub> und K<sub>2</sub>. Schon im Dünnschliff ist auffällig, daß K<sub>2</sub> mehr Organreste als K<sub>1</sub> enthält, auch in den roten Peliten der Fugen finden sich solche Fossilanreicherungen. Ich nehme daher an, daß auch während der Bildung des Astraturites eine Rotschlamm sedimentation andauerte, daß aber eine eventuell vorhandene Rhythmik nicht aufgezeichnet wurde, sondern der Rotschlamm überall in die Hohlräume von K<sub>1</sub> eingemischt wurde. Nach allem kann man den Astraturit nicht als durch ein einmaliges Ereignis, etwa einen Schlammrutsch oder ähnliches, entstanden, erklären. In so einem Fall wären die deutlich ausgeprägten s verloren gegangen. Das Entstehen der Spalten und Klüfte muß dauernd vor sich gegangen sein. Wie beschrieben, sind die Grenzen der Höhlen meist so, daß man auf ein Entstehen in noch nicht ganz verfestigtem Gestein schließen kann, aber es kommen auch Stellen vor, wo K<sub>2</sub> in eckig unter Breccienbildung gebrochene Klüfte eindrang, wobei aber alle Klüfte vor der tektonischen Verstellung gefüllt wurden. Über die Entstehung der Klüfte kann man wieder nur Vermutungen anstellen; es kann sich auch hier um seismische Spalten handeln. Man darf nicht vergessen, daß sich in unmittelbarer Nachbarschaft zu dieser Zeit das Triasriff des Dachsteines absenkte.

Es scheint mir wahrscheinlich, daß viele von Mojsisovics Linsen genannte Anreicherungen von Fossilien Füllungen von Spalten senkrecht zur Schichtfläche sind, nach Mojsisovics (23) handelt es sich um 1 m breite, 10–30 m (!) lange, fossilreiche Einschaltungen dunkler Kalke. Untersucht man Fossilmaterial aus so tiefen Klüften, kann man natürlich keine subtile paläontologische Horizontierung erreichen.

### Rhythmische Sedimentation.

Das Gestein ist das strenge Abbild seiner Bildungsbedingungen, das heißt, gleiche Bildungsbedingungen ergeben gleiche Gesteine. Diese Bildungsbedingungen sind das Endglied einer unendlich langen kausalen Reihe. Viele dieser Bedingungen sind durch den Bildungsraum des betreffenden Sedimentes vorgegeben, aber ein ganzer Komplex läßt sich gedanklich über größere Bereiche hinaus verfolgen. Alle Bedingungskomplexe kann man wieder durch ihren Wirkungsbereich kennzeichnen, sei dieser Bereich die ganze Erde, oder auch nur ein, zwei Sedimentationsräume. Die Summe aller Bedingungen setzt sich also aus Bedingungsgruppen verschiedener Reichweite zusammen. Bedingungsgruppen einzeln und zusammengesetzt, nennt Sander (28)

Diktator (durch seinen Wirkungsbereich gekennzeichnet) des Sedimentes.

Das eigentümliche der hier betrachteten Gesteine ist, daß in gewissen Raumabständen immer wieder ein Wechsel der Bildungsbedingungen abgebildet wird. Solche Gesteine sollen straturierte Gesteine, kurz Straturite, heißen. Straturiert soll nur die Wiederkehr des Wechsels in der Gesteinsbeschaffenheit ausdrücken; über die Konstanz der Raumabstände wird dabei nichts ausgesagt, sind die Raumintervalle konstant, spricht man von rhythmischen Straturiten, oder Rhythmiten (nach Sander, 28, S. 190). Es ist nicht zu erwarten, daß man mathematisch genaue Rhythmen im Gefüge findet, es ist daher zweckmäßig, durch die mittlere Schwankung anzugeben, wie genau ein rhythmisches Gefüge durch einen exakten Rhythmus dargestellt wird. Dem Geologen liegen nicht zeitliche, sondern räumliche Rhythmen vor. Bei einem Übergang von räumlichen Rhythmen auf zeitliche, ist die Regel der rhythmischen Abbildung (Sander, 28, S. 43), die folgendes aussagt, zu beachten. Eine zeitliche Rhythmik wird räumlich entweder rhythmisch straturiert, oder nur straturiert abgebildet. Raumrhythmik im Sediment weist auf gleichförmiges Wachstum und Zeitperiodizität des Diktators hin, nicht aber kann man aus räumlicher Arrhythmik auf zeitliche Aperiodizität schließen.

Für die Rhythmik der Gesteine ist die Rhythmik der Bildungsbedingungen, das heißt, des Diktators, maßgebend, wobei man sich den Diktator aus Diktatoren verschiedener Wirkungsbereiche zusammengesetzt denken kann. Die durch den Raum gegebene Bedingungsgruppe führt zu dem Begriff der autonomen Schichtung (Brinkmann, 5), zu diesem Begriff kommt man aber wahrscheinlich nur, weil sich gewisse Bedingungsgruppen nicht auflösen und weiter verfolgen lassen, mit anderen Worten, weil sich Nichtzufälligkeit nicht nachweisen läßt. Die Rhythmik des allgemeinen Diktators ist das, was geologisch und in jeder Hinsicht interessant ist. Sander hat gezeigt, daß das, was man aus dem Gefüge über den Diktator ablesen kann, sich auf zwei Aussagen beschränkt: nämlich Rhythmik nachgewiesen oder nicht nachgewiesen, und räumliche und zeitliche Ausdehnung des Diktatorwirkungsbereiches; das ist aber alles. Brinkmann (5), ähnlich auch Vortisch (40) versucht eine Einteilung der Ursachen der Schichtung. Ich will hier mit Absicht vermeiden, den Diktator als irgend etwas zu deuten, nicht etwa um den Wert Brinkmanns Arbeit zu leugnen, sondern eben um Material für eine Deutung zu sammeln.

S. v. Bubnoff (6) folgt, indem er zwischen Rhythmen und Zyklen unterscheidet, den Amerikanern, die für komplexere Raumrhythmen das Wort Cyclothems benützen (auch Bramlette, 4). Es erscheint mir, daß diese Unterscheidung zwischen rhythmischen und zyklisch unnotwendig ist (so wenig auch der Physiker über einem kompliziert überlagerten, periodischen Vorgang vergißt, daß er eben periodisch ist, und daher auch kein neues Wort dafür einführt), vielleicht ist der Name aber auch zweckmäßig, das wird sich zeigen. Aber sehr gefährlich erscheint es mir, die endlich in Angriff genommene Untersuchung rhythmischer Gefüge durch frühzeitige genetische Deutung

der deskriptiv sehr tauglichen Begriffe zu stören, in dem man a priori Rhythmen einfach klimatisch exogen und Zyklen tektonisch endogen erklären will.

In einigen Fällen wurden Rhythmen zeitlich als Jahresperioden gedeutet, dazu berechtigt die Größenordnung des Rhythmus und seine gute Periodizität, doch möchte ich solche Deutungen mehr als Arbeits-hypothesen und nicht als endgültiges Ergebnis handhaben.

Die große Schwierigkeit liegt darin, den Wirkungsbereich eines Diktators festzustellen, das heißt, Isorhythmie zweier Räume nachweisen.

Sander zeigt, daß im Grenzgebiet zweier Räume, die unter demselben Diktator stehen, Rhythmeninterferenzen zu finden sein müßten, bei besserer Kenntnis der Rhythmen könnte man auch Methoden der Warvenanalyse versuchen, doch ist bis dort hin noch ein weiter Weg. Auch arrhythmische Straturite als Abbild eines arrhythmischen oder auch rhythmischen Diktators, können in Sonderfällen parallelisiert werden, wie dies im großen ja in der Stratigraphie gehandhabt wird, aber im allgemeinen werden diese weniger ausdrucksfähigen Gesteine viel weniger zum Nachweis einer Isodiktatur geeignet sein.

Ein Hauptproblem, das in meinem Fall zur Befassung mit Hallstätter Kalken geführt hat, war die Frage, wie verhält sich die Rhythmik des Hallstätter Kalkes zur Rhythmik des Dachsteinkalkes. Die Rhythmik des Dachsteinkalkes ist bis jetzt die best untersuchte im Gebiet der nördlichen Kalkalpen, sie ist meist so gut ausgebildet, daß ich annahm, daß sie sich vielleicht auch im Raum der Hallstätter Kalke auffinden läßt. Nach der tektonischen Deutung von F. F. Hahn und E. Spengler hat man den Bildungsraum der Hallstätter Kalke im Süden des Dachsteines zu suchen, es ist daher von vornherein unwahrscheinlich, daß man Rhythmeninterferenzen findet, denn zwischen den beiden Räumen liegt die astraturitische Fazies der Dachsteinriffe. Um zwei getrennte Räume auf Isorhythmie zu untersuchen, kommt nur eine Methode in Frage, man versucht festzustellen, ob die Rhythmen der beiden Räume von derselben zeitlichen Größenanordnung sind, das heißt, ob in den zwei Räumen in der gleichen geologischen Zeitperiode gleichoft rhythmische Änderung der Sedimentation erfolgte. Solche Untersuchungen können bei den jetzt angewandten Methoden nur mehr Schätzungen als genaue Bestimmungen sein. Zugute kommt einem aber, daß man große Zeiträume vergleichen kann, so daß das Ergebnis ein statistisches Mittel und daher sicherer ist. Das Mächtigkeitsverhältnis Dachsteinkalk zu Hallstätter Kalk ist ungefähr 4:1, das heißt, auch die im Hallstätter Kalk zu erwartenden Rhythmen müssen um ein Viertel kleiner sein, als die des Dachsteinkalkes. Nimmt man für den Dachsteinkalk eine mittlere Bankmächtigkeit von 140 cm, ein Wert, der sicher zu klein ist, dann müßte man im Hallstätter Kalk Rhythmen von 35 cm durchschnittlicher Mächtigkeit erwarten.

Das 1400 m mächtige Nor des Dachsteinkalkes besteht nach obiger Annahme aus 1000 Bänken. Der einzige, größere Mächtigkeiten durchlaufende Großrhythmus in den Hallstätter Kalken ist der 8 cm-Rhyth-

mus, wäre er mit dem Dachsteinkalk-Meter-Rhythmus identisch, würden schon in 80 m 1000 Rhythmen liegen und daher das ganze Nor in dieser geringen Mächtigkeit vertreten sein. Es geht daraus mit Sicherheit hervor, daß der 8 cm-Rhythmus des Hallstätter Kalkes nicht von demselben Diktator stammt wie der Meter-Rhythmus des Dachsteinkalkes. Die Dachsteinkalkrhythmik ließ sich in den Hallstätter Kalken nicht auffinden, es soll hier nur die Vermutung ausgesprochen werden, daß die Rhythmik des Hallstätter Kalkes mit der Rhythmik des Adneter Liaskalkes gleich ist.

Vergleichen wir die Ausbildung der Schichtfuge der beiden Bildungsräume, Dachsteinkalk und Hallstätter Kalk. Im Dachsteinkalk kommt vielfach symmetrisch gebaute Fuge vor, während in den Hallstätter Kalken polar gebaute oder symmetrieloze Zwischenschicht die Regel ist. Der starke Gegensatz, völlige Astraturie innerhalb der Bänke und ausgeprägte Feinschichtung in den Zwischenschichten, wie das in den Dachsteinkalken der Fall ist, ist in den Hallstätter Kalken nicht vorhanden; die Zwischenschicht der Hallstätter Kalke zeigt zwar oft auch Feinrhythmik, dasselbe ist aber auch in den Bänkchen zu beobachten. Auffällig ist, daß auch in den Fugen der mächtigeren Bänkchen an den Übergängen zum Sommeraukogelastraturit, und in den Astraturiten selbst, dunkelroter Pelit vorkommt, genau so, wie das in den Fugen der Dachsteinkalkgroßrhythmen der Fall ist. Leuchs (20) vertritt die interessante Hypothese, daß die Fugenfazies der Dachsteinkalke verkümmerte Hallstätterfazies ist.

Mir scheint noch wahrscheinlicher, daß die Rotschlamme der Dachsteinfugen gleich mit den roten Fugenpeliten des Hallstätter Kalkes sind. Das heißt aber, man kann die Fugenfüllungen des Dachsteinkalkes nicht als Faziestransgression vom Hallstätterraum her auffassen, in diesem Fall hätte sich Isorhythmie finden lassen müssen. Ich deute daher auch die Hallstätter Kalke, so wie Leuchs die Dachsteinkalke, als ein Sediment in das Rotschlamm, aber mit anderer Rhythmik eingeschwemmt wurde. Die Hallstätter-Kalk-Rhythmik ist schon deshalb nicht so scharf, weil auch die Bankkalke leicht rötlich gefärbt sind, dazu kommt noch, daß Rotschlamm höchstwahrscheinlich von der Fuge als  $K_2$  in die Bank gelangt. Gegenüber Leuchs möchte ich aber vermuten, daß die Rotschlamme, die sehr wohl chersogener Herkunft sein können, in gelöstem Zustand transportiert wurden, und daß für die Rhythmik der Ausfällung hydroklimatische Bedingungen maßgebend waren; würde man zum Beispiel Windtransport verantwortlich machen, müßte man in beiden Räumen gleiche Rhythmik erwarten. Doch soll das, wie ja auch bei Leuchs, nur eine Vermutung sein.

### Bewegungszustand und Tiefe des Wassers.

Bei der außerordentlichen Heteropie der Hallstätterfazies ist es bei meinen, im Vergleich zu allen bekannten Vorkommen doch beschränkten Untersuchungen nicht möglich, jetzt schon allgemeines über die ganzen Hallstätter Kalke auszusagen. Es ist eine spätere Aufgabe, zu untersuchen, ob sich die festgestellten Faziesunterschiede,

vor allem der Wechsel Straturit, Astraturit, weiter verfolgen lassen. Selbstverständlich ist das eine Arbeit des kartierenden Feldgeologen, eine Arbeit, deren Gelingen oder Nichtgelingen ein gleich wichtiges Ergebnis darstellt.

Nach den Erfahrungen in dem Sommeraukogelprofil herrscht in den Rhythmiten eine Mindestruhe der Wasserbewegung, es wird keine Strömung abgebildet. Das Fehlen der Wasserbewegung kann, muß aber nicht, auf größere Wassertiefe deuten. Auch das Auftreten von Feinschichtung kann nicht gut bathymetrisch ausgewertet werden. Es ist zwar bis jetzt in Hochseesedimenten Feinschichtung noch nicht nachgewiesen worden, dafür ist im Schwarzen Meer Feinschichtung in über 2000 m Tiefe gefunden worden. Das Fehlen von Feinschichtung in richtigen Tiefseesedimenten wird wohl darauf zurückgehen, daß sich diese Räume gegenüber schnellen Perioden, wie die Jahresperiode, so träge verhalten, daß diese nicht scharf genug akzentuiert ist, um abgebildet zu werden.

Das heißt, nach den bisherigen rezenten Erfahrungen ist Feinschichtung in 2000 m und auch in ganz seichten Ablagerungen zu erwarten; wobei, wie das ja immer betont wird, die Erhaltungsmöglichkeit (Schwarzes Meer als günstigster Fall), eine große Rolle spielt. Es lag nicht im Interesse meiner Arbeit, auf das fossile Leben im Raum der Rhythmite einzugehen, nur soweit als sich feststellen ließ, daß biogen Angelagertes (im Sinne von Sander, 28) am Gefüge nicht beteiligt ist. Es liegt außerhalb meiner Kenntnis, ob sich aus den benthonischen Foraminiferenformen eine genauere bathymetrische Bestimmung durchführen läßt, aber ganz unzulässig erscheint mir, wie schon gesagt, daß man bei Auftreten von Globigerinen gleich an Tiefen von 2000—5000 m denkt.

Nach dem Gesagten fehlen also sichere Hinweise. Bei außerordentlich ruhigen Wasser könnte die Tiefe nach den Gefügebefunden ungefähr 2000—50 m betragen haben, eine genauere Schätzung läßt sich nur im Anschluß an die viel ausdrucksreicheren Astraturite gewinnen.

In den Astraturiten konnte an vielen Stellen Bodenströmung klar nachgewiesen werden, aus dem Transport von Schlickgeröllen konnten Strömungsgeschwindigkeiten von mindestens 50—150 cm/sek. erschlossen werden. Das Auftreten solcher Strömungen läßt die Angabe einer maximalen Tiefe zu, man kann 200 m (nach einer Rücksprache mit Prof. A. Defant) als untersten Wert annehmen. In Frage kommen hauptsächlich Gezeitenströmungen. Über die Tiefenwirkung des Wellenganges ist nichts sicheres bekannt. Eine kurze Literaturzusammenstellung findet man bei Thorade (37). Bei einer Wassertiefe von 62—88 m und einer Wellenhöhe von 1,7 m wurden Sandrippeln am Boden beobachtet, für diese Wellen errechnet man nach der Laplaceschen Theorie eine maximale Bodenströmung von 48 cm/sek. Krümmel beobachtete Rippel in 180 m Tiefe, ja sogar 300—400 m (?). Die Strömungsgeschwindigkeiten sind dabei aber sehr gering.

Bildung von Kreuzschichtung, die Füllung von Spalten mit Muscheln und auch die Bildung der Monotisbank, das alles spricht für

seichtes Wasser. Ob die Astraturite auch auftauchten und zeitweise ohne Wasserbedeckung lagen, ist eine nahe liegende Frage, die jedoch jetzt nicht sicher zu beantworten ist. Kritische Studien über wirkliche Auftauchgebiete sind mir nicht bekannt. Mir scheint aber ein Auftauchen unwahrscheinlich, gedanklich wären dann starke Diskordanzen, Erosionsgräben (Prielbetten) mit rhythmischem Sedimentgefüllt usw. zu erwarten. Rippelmarken sind in dem schlammigen Sediment nicht zu erwarten (Twenhofel, 38).

Mir scheint nach allem, daß im Raume der Astraturite eine Tiefe von 150--50m geherrscht hat, wobei die Maximaltiefe von 200m eine einigermaßen sichere Grenze ist.

Es fragt sich, ob man die beschriebenen Straturite als eine Bildung, die 1000m und tiefer lag, annehmen soll und naturgemäß annehmen muß, daß sich der Raum während der relativ kurzen Zeit des Überganges von Straturit in Astraturit um ein beträchtliches gehoben hat, oder ob man neben der Hebung nicht lieber auch eine Zunahme der Wasserbewegung, also einen Wechsel der Strömungsverhältnisse bei gleicher oder auch nur gering veränderter Wassertiefe annehmen will. Mir scheint letzteres wahrscheinlicher.

#### Allgemeines zum Verhältnis Dachsteindecke, juvavische Decke.

Ohne den Wert meiner rein petrographisch gedachten Arbeit zu beeinträchtigen, möchte ich zum Schluß eine als rein hypothetisch gekennzeichnete Überlegung anschließen.

Nach der Hypothese von Hahn und Spengler liegt der Bildungsraum der Hallstätter Kalke bekanntlich ursprünglich im Süden des Dachsteines, in vorgosauischer Zeit wandern sie dann mit der ganzen juvavischen Decke an ihren heutigen Platz. Spengler hat gezeigt, wie nach seiner Hypothese die Fazies der einzelnen Decken (in ihrer ursprünglichen Lage) sich stetig ändern und ineinander übergehen.

Zum besseren Verständnis des folgenden wurde ein Profil von Spengler (35) in unnatürlicher Überhöhung umgezeichnet (siehe Abb. 15). Fig. a stellt das gesamte Obertriasprofil (Raiblerschichten auf 0 bezogen) annähernd in seiner heutigen Lage dar, die Mächtigkeiten der einzelnen Schichten sind, so genau sie eben heute bekannt sind, eingetragen, so daß sich ungefähr ein richtiges Bild ergibt.

Fig. b zeigt das gleiche Profil nach beendeter Triassedimentation, bezogen auf den Meeresspiegel, 0m. Für den Raum der Hallstätter Kalke wurde dabei die Maximaltiefe von 200m angenommen. Für den Raum der Dachsteinkalke und Hauptdolomite ergeben sich nach Sander (28) noch geringere Tiefen. Im Raume der Dachsteinkalk-Rhythmite ließ sich außerordentlich genau kontrollieren, daß die Bildungstiefe während der ganzen Zeit konstant blieb, das heißt aber, das Riff hat sich langsam gesenkt, und zwar genau so schnell wie es zuwuchs, wohl einer der interessantesten Vorgänge überhaupt. Nach unserer Feststellung über die Bildungstiefe der Hallstätter Kalke bedeutet das aber, daß das Riff gegen die Hallstätter Kalke an

einer südlich des Dachsteines gelegenen Linie mindestens 1300 m während der Bildung abgesunken ist. Diese Bewegungen während der Obertrias stellen so schon die Voraussetzungen her, die später zur juvavischen Überschiebung notwendig sind. Die vielfachen frühen Rupturen und Klüftbildungen zu einer Zeit, in der das Gestein noch nicht ganz verfestigt war, kann man wahrscheinlich mit dieser Bewegung in Zusammenhang bringen. Die Zerbrechungen in frühen Sinterhohlraumfüllungen in den beschriebenen Kalken des Sirius-

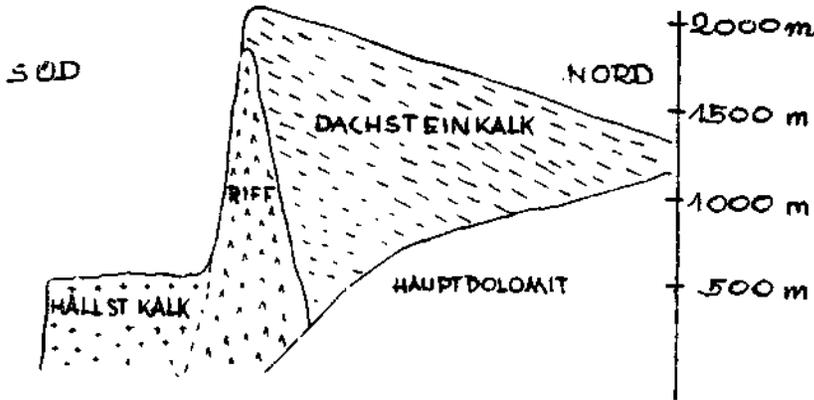


Abb. 15 a.  
Längenmaßstab 1 : 200.000, Höhenmaßstab 1 : 50.000.

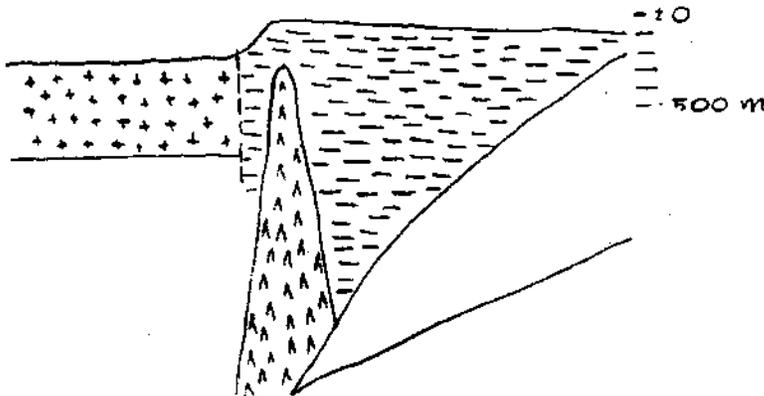


Abb. 15 b.

kogels, der in unmittelbarer Nähe der Bewegungszone gelegen sein muß, kann man dadurch erklären. Ebenso gibt dieser Vorgang einen weiteren Hinweis dafür, daß man Rhythmeninterferenzen zwischen beiden Gebieten nicht zu erwarten hat. Anlässlich der juvavischen Überschiebung wird der Kalk wieder deformiert, die beschriebenen ac-Klüfte der Sommeraukogelantiklinale bilden sich.

#### Schrifttum.

1. Archangelsky A. D., On the Black Sea sediments etc. Bull. Soc. des Natur. de Moscou. N. R. Sect. Géol. 5, 199 (nach Sander, 28).
2. Billings, Structural geology. New York 1942, Prentice INC.

3. Bradley W. H., Origin and microfossils of the Greenriverformation. Geological survey prof. pap. 168, p. 24—26, Washington 1931.
4. Bramlette M. N., The Monierriyformation. Geol. survey, prof. pap. 212, p. 1 ff., Washington 1946.
5. Brinkmann R., Über die Schichtung und ihre Bedingungen. Fortschr. d. Geol. u. Pal. 11 (Decke Festschrift), Berlin 1932.
6. v. Bubnoff S., Rhythmen und Zyklen in d. geol. Zeitrechnung. Geol. Rdsch. 35, H. 1, S. 6, Stuttgart 1947.
7. Correns C. W., Die Sedimentgesteine. In „Die Entstehung der Gesteine“ (Barth), Correns, Eskola, Verlag J. Springer, Berlin 1939.
8. Diener C., Grundzüge der Biostratigraphie, Verlag F. Deuticke, Wien 1925.
9. Fiege K., Zyklische Sedimentation. Abh. d. preuß. geol. Landesanst. N. F., H. 177, Berlin 1937.
10. Goldmann M. I., Missisipian formation of San Sabba country Texas. Professional pap. 146, Washington 1926.
11. Götzinger G., Die Sedimentierung der Lunzer Seen. Verh. d. geol. Reichsanst. 1911, S. 173, Wien 1911.
12. Häberle D., Paläontolog. Untersuchungen triadischer Gastropoden. Verh. d. Naturhist. med. Vereines IX. H. 2/3, p. 553, Heidelberg 1908.
13. Hahn F. F., Grundzüge des Baues der nördl. Kalkalpen zwischen Inn und Enns. Mitt. d. geol. Ges. Wien, Bd. VI, H. 3/4, S. 238 ff. (vor allem S. 391), Wien 1913.
14. Hahn O., Das Alter der Erde. Naturwissenschaften 1930, H. 47—49, Berlin 1930.
15. Heinrich A., Untersuchungen über die Mikrofauna des Hallstätter Kalkes. Verh. d. geol. Reichsanst., S. 225, Wien 1913.
16. Jüngst H., Zur geologischen Bedeutung der Synärese. Geol. Rdsch. 25, 1934, S. 312, Stuttgart 1934.
17. Köcken E., Die Gastropoden der Trias um Hallstatt. Abh. d. geol. Reichsanst. 17, S. 3 ff., Wien 1897.
18. Kober L., Der geologische Aufbau Österreichs. Verlag J. Springer, Wien 1938.
19. Korn H., Schichtung und absolute Zeit. Geol. Rdsch. 26, S. 136, Berlin 1935.
20. Leuchs K. & Udluft H., Entstehung und Bedeutung roter Kalke der Berchtesgadner Alpen. Senkenbergiana 8, H. 3/4, 1926, S. 174 ff., Frankfurt 1926.
21. Leuchs K., Beiträge zur Lithogenese kalkalpiner Sedimente. N. Jb. für Min. etc., Bd. 59, Abt. B., S. 357. 1928.
22. Mojsisovics E., In Diener C. Bau und Bild der Ostalpen und des Karstgebirges. Wien-Leipzig 1903.
23. Mojsisovics, E., Erläuterungen zur geologischen Karte Ischl—Hallstatt. Geologische Reichsanstalt Wien, 1908.
24. Richter R., Flachseebeobachtungen zur Geologie und Paläontologie. Senkenbergiana 4, 1922, Bd. 6, 1924, Bd. 8, 1926, Frankfurt 1922, 1924, 1926.
25. Salomon W., Die Adamellogruppe. Abh. d. geol. Reichsanst. 21, H. 1, S. 313, Wien 1908.
26. Sander B., Über bituminöse und kohlige Gesteine. Mitt. d. geol. Ges. 15, 1922, S. 1—50, Wien 1908.
27. Sander B., Gefügekunde der Gesteine. Verlag J. Springer, Wien 1930.
28. Sander B., Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungsgefüge. Min. Petr., Mitt. 48, S. 27—139, Leipzig 1936.
29. Sander B., Zum Gesteinscharakter der Sonnwendbreccie. Berichte d. Reichsstelle f. Bodenforschung 1941, S. 81—89, Wien 1941.
30. Schaffernack F., Grundlagen der Geschiebebewegung. Deuticke, Wien 1922.

31. Schmidegg O., Über geregelte Wachstumsgefüge. Jb. d. geol. Reichsanstalt. Wien 1928, S. 1.
32. Schmidt H., Die bionomische Einteilung der fossilen Meeresböden. Fortschr. d. Geol. u. Pal. 12, H. 38, S. 1—148, Berlin 1938.
33. Schott W., Die Foraminiferen im äquatorialen Teil des atlantischen Ozeanes. Wiss. Ergebnisse der deutschen Expedition „Meteor“, Bd. III, 1935—1937.
34. Spengler E., Die Gebirgsgruppe des Plassens und Hallstätter Salzberges im Salzkammergut. Jb. d. geol. Reichsanst. 68, 1918, S. 285—474, Wien 1919.
35. Spengler E., Zur Einführung in die tektonischen Probleme der nördl. Kalkalpen. Mitt. d. Reichsamtes f. Bodenforsch. 5, S. 3—17, Wien 1943.
36. Stoces B. & White, Structural geology. Macmillan & Comp., London 1935.
37. Thorade H., Probleme der Wasserwellen. Verlag Henri Grand, Hamburg 1931.
38. Twenhofel W. H., Treatise on sedimentation. Sec. edition. William & Wilkins, Ballimore 1932.
39. Twenhofel W. H., Development of shrinkage cracks in sediments without exposure to the atmosphere. Abstract. Bull. geol. Soc. of Amer. 34, 1923, p. 64.
40. Vortisch W., Ursache und Einteilung der Schichtung. Jb. d. geol. Reichsanst. Wien 80, S. 455—493, Wien 1930.
41. Walther J., Geschichte der Erde und des Lebens. S. 362, Verlag Voit & Comp., Leipzig 1908.
42. Wasmund E., Geologisch-hydrologische Taucherbeobachtungen. Geologie der Meere und Binnengewässer. Bd. I, S. 20, Berlin 1937.

Weitere Literaturangaben finden sich in der Arbeit Sander (28).

---