

## Evaporitische Fazies der Reichenhaller Formation (Skyth/Anis) im Haller Salzberg (Nördliche Kalkalpen, Tirol)

Von CHRISTOPH SPÖTL\*)

Mit 20 Abbildungen und 4 Tabellen

*Tirol*  
*Nördliche Kalkalpen*  
*Skyth/Anis*  
*Reichenhaller Formation*  
*Schwefelisotopen*  
*Sedimentologie*  
*Geochemie*  
*Magnesit*

Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blatt 118

### Inhalt

Zusammenfassung .....	153
Abstract .....	153
1. Einleitung .....	153
2. Untersuchungsmethodik .....	154
3. Sedimentpetrographie und Mikrofazies der Karbonate und Ca-Sulfate .....	154
3.1. Charakterisierung der Mikrofaziestypen .....	157
4. Mineralogische und geochemische Untersuchungen .....	162
4.1. Zusammensetzung der Dolomite .....	162
4.2. Zusammensetzung der Breunnerite .....	163
4.3. Geochemische Untersuchungen .....	163
5. Schwefelisotopendatierungen .....	165
6. Fazielle Interpretation .....	166
Dank .....	166
Literatur .....	166

### Zusammenfassung

Dolomitanhydrite innerhalb des Haselgebirgs-Salinar im stillgelegten Salzbergwerk von Hall in Tirol wurden kartiert und einer sedimentologischen und geochemischen Bearbeitung unterzogen.

Auf Grund neuer Schwefelisotopendaten werden diese evaporitische Gesteine in das Skyth-Anis-Grenzniveau der Reichenhaller Formation gestellt. Die leicht bituminösen, dunklen Dolomikrite zeigen eine sehr spärliche euryhaline Fauna, bestehend aus kleinen Crustaceen, Bivalven, Ostrakoden und Kieselschwämmen. Diese sprechen zusammen mit Mikrobematten und dem häufigen Auftreten von frühdiagenetischen Gipskristallen für ein hypersalines subtidales Environment, in dem es wiederholt zur Evaporation von dm- bis m-mächtigen Gips/Anhydritbänken kam. Eindeutige Hinweise für ein Intertidal und Supratidal (Küstensabkha Fazies) konnten bislang nicht beobachtet werden.

Mikrofazielle Kriterien weisen auf die Entstehung der hangenden Reichenhaller Kalkbrekzien und Rauhacken durch partielle Auslaugung und Dedolomitisation des liegenden Dolomitanhydrits hin.

### Abstract

A dolomite-anhydrite complex inside the abandoned salt mine north of Hall in Tyrol (Northern Calcareous Alps, Austria) is described in detail. Recent S-isotope investigations point to

\*) Anschrift des Verfassers: Mag. CHRISTOPH SPÖTL, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck.

an Upper Scythian/Lower Anisian age (Reichenhall Formation.).

Carbonate microfacies is dominated by unfossiliferous early diagenetic, fine grained dolomicrites with scattered gypsum crystals. Stromatolitic algal mats, small crustacean and some pelecypods indicate a hypersaline subtidal to possible intertidal environment of a restricted lagoon in the NW-Tethys. Carbonate sedimentation alternated with massive to thin bedded argillaceous anhydrites, devoid of supratidal textural evidence. Postdepositional leaching produced dedolomitized carbonate collapse breccias, overlying the dolomite-anhydrite complex.

Alpidic tectonics and diapiric movements of the underlying Upper Permian evaporites (Alpine Haselgebirge fm.) generated a partial brecciation, probably coeval with a breunnerite mineralization.

### 1. Einleitung und Problemstellung

Im Zuge einer Neubearbeitung der permoskythischen Salinar-Aufschlüsse im Mittel- und Westabschnitt der Nördlichen Kalkalpen wurde der 1967 stillgelegte alpine Salzbergbau von Hall in Tirol schwerpunktmäßig bearbeitet.

Bislang vorliegende palynologische (KLAUS, 1953, 1965) und S-Isotopendaten (PAK, 1982) indizieren eine oberpermische und oberskythisch/unteranische Eva-

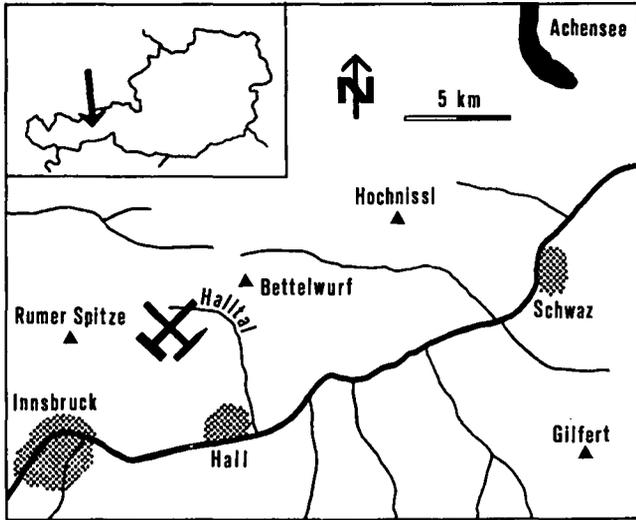


Abb. 1.  
Lage des Untersuchungsgebietes: Der 1967 stillgelegte alpine Salzbergbau im oberen Halltal.

poritsedimentation in diesem Raum. Während die Probenpunkte oberpermischer Anhydrite (PAK, 1982: 192) einzelne, häufig muriatitische Komponenten im Grün- und Rotsalz-Gebirge (sensu SCHAUBERGER, 1949, 1986) darstellen, stammen sämtliche untertägigen Proben aus dem sogenannten stinkdolomitisch-anhydritischen Grausalzgebirge (sensu SCHAUBERGER, l. c.). Diesem Komplex können im Haller Salzberg mächtige Schollen von Dolomitanhydriten zugerechnet werden, die im Rahmen dieser Arbeit im Detail untersucht wurden (Abb. 1, 2).

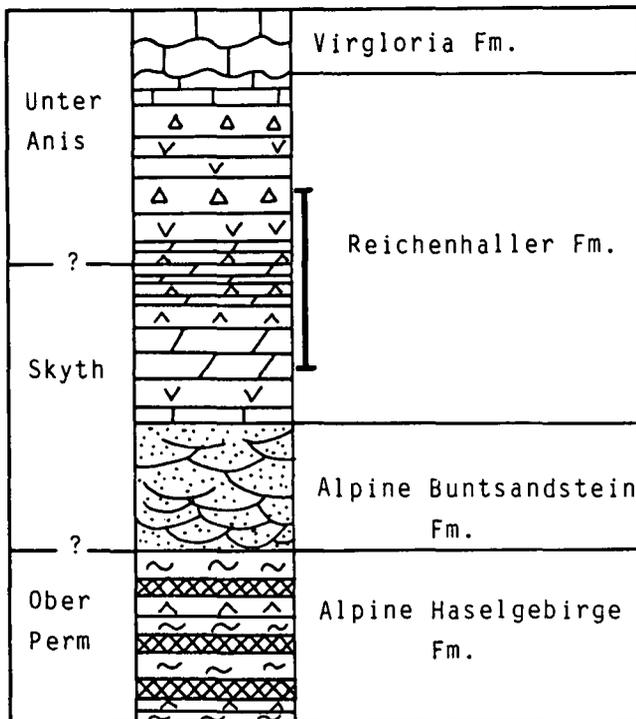


Abb. 2.  
Stark schematisiertes Übersichtsprofil der basalen permioskythischen Stratigraphie im Untersuchungsgebiet der westlichen Nördlichen Kalkalpen. Der dunkle Balken markiert in etwa das stratigraphische Niveau der untersuchten Dolomitanhydrite.

Die größte geschlossene Scholle liegt im Niveau zwischen Erzherzogsberg- und Steinberg-Horizont und mißt maximal 850 m in ihrer E-W-Erstreckung (Abb. 3). Eine Kartierung im Maßstab 1 : 100 zeigte, daß diese Einlagerung intern stark deformiert und z. T. brekziert ist.

Überdies ist auch die altbekannte Fe-Magnesit-Mineralisation des Haller Salzberges (vgl. HIMMELBAUER, 1931; PETRASCHECK, 1932; ANEGG & EBENBICHLER, 1956) and diese Gesteine gebunden.

Ziel dieser Untersuchungen war es, die Karbonate und Anhydrite mikrofaziell, petrographisch und geochemisch zu bearbeiten und im Verein mit neuen S-Isotopendaten eine stratigraphisch-fazielle Einordnung dieser Evaporite zu geben.

## 2. Untersuchungsmethodik

In tektonisch ungestörten Abschnitten des Erzherzogsberg-, Kaiserberg- und Königsberg-Horizontes wurden Detailprofile aufgenommen (Abb. 4). An Hand von ca. 50 Dünnschliffen wurden die Karbonate mikrofaziell untersucht (FLÜGEL, 1982). Der semiquantitative Mineralbestand wurde diffraktometrisch ermittelt. Überdies wurde der Ca-Gehalt im Dolomitgitter, sowie der Ordnungsgrad derselben bestimmt (GOLDSMITH & GRAF, 1958; FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT, 1965).

Für die Untersuchung der Magnesite stand eine ARL-SEM-Q-Elektronenstrahlmikroskopie am Institut für Mineralogie und Petrographie zur Verfügung.

Geochemische Analysen wurden an HCl-Aufschlüssen (0,25% La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Puffer) mit einem PYE-UNICAM SP9 Atomabsorptions-Spektrophotometer ausgeführt.

Die Schwefelisotopenanalysen wurden am Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Universität Wien (Analytiker: Dr. E. PAK) durchgeführt (vgl. PAK & FELBER, 1975).

## 3. Sedimentpetrographie und Mikrofazies der Karbonate und Ca-Sulfate

Makroskopisch handelt es sich um dm-gebankte, dunkelbraune bis schwarze, häufig bituminöse Dolomite, die in inniger Wechsellagerung mit dolomitischen Anhydriten (ebenfalls grau gefärbt und rückstandreich) stehen.

Unter den Sulfat-Lithogefügen herrschen brekziöse, matrixgestützte Anhydrite vor. Mit abnehmender Häufigkeit treten undeutlich geschichtete bis massig-dichte Anhydrite, gebänderte Texturtypen (JUNG, 1958) und feingeschichtete Anhydrite auf. Bezeichnend ist das Fehlen der Knollen- und Mosaikanhydrite, die im Hal-leiner und Hallstätter Salzberg erstmalig gefunden wurden (SPÖTL, 1988).

Der Vollständigkeit halber sei zum einen darauf hingewiesen, daß seinerzeit beim Vortrieb im Dolomitanhydrit des öfteren „matte Wetter“ angetroffen wurden (SCHMIDT, 1874: 143), bei denen es sich ziemlich sicher um N<sub>2</sub>-Exhalationen gehandelt hatte (SCHAUBERGER, 1986: 234). Ein ursächlicher Konnex mit dem bituminösen Dolomitanhydrit als vermutliches Muttergestein dieser Gase ist anzunehmen. Zum anderen ist auffallend, daß das Vorkommen des sehr seltenen, gelben,

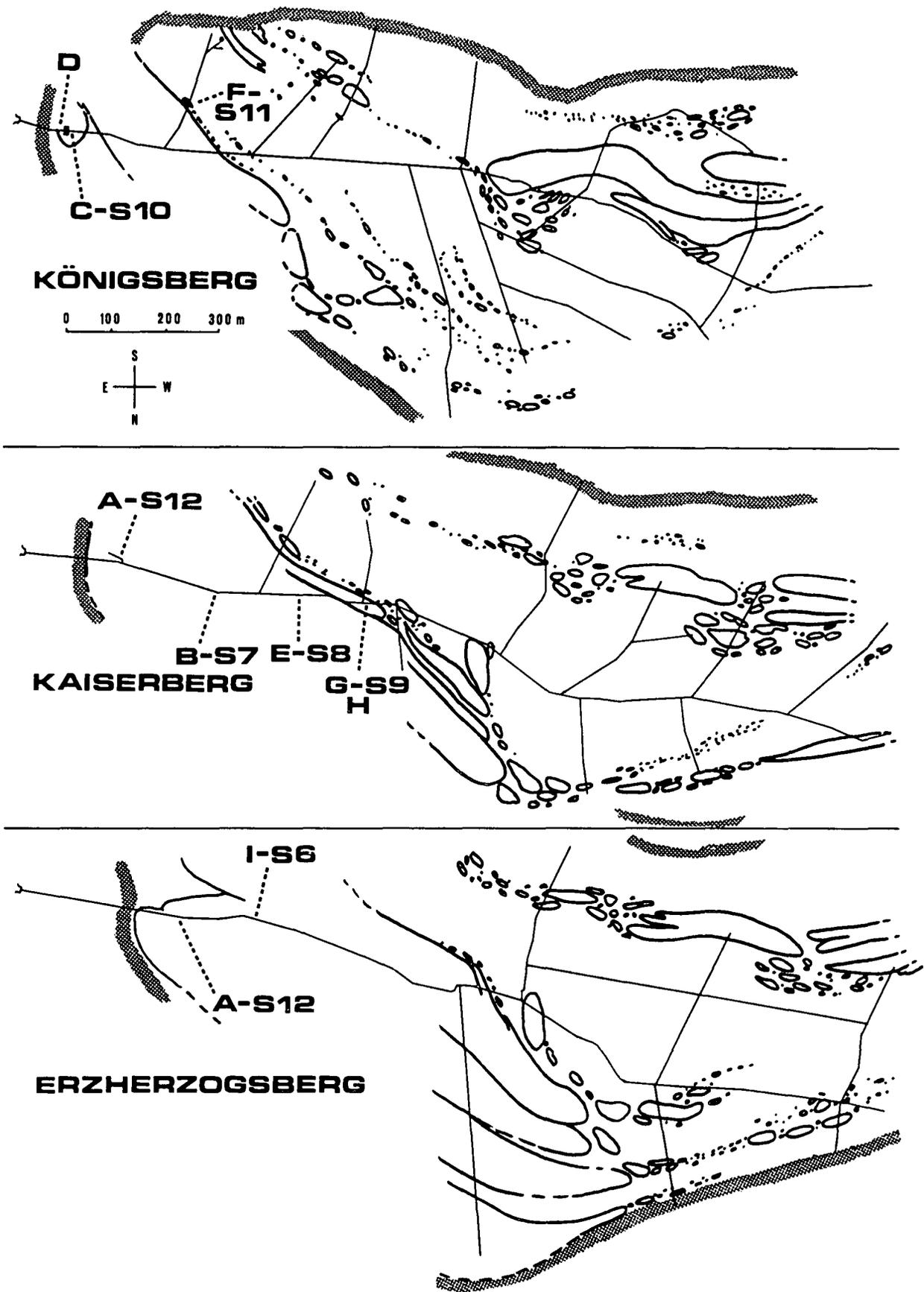


Abb. 3.  
 Vereinfachte geologische Horizontkarten des Haller Salzberges mit Verbreitung des Dolomitanhydrits innerhalb des Haselgebirgs-Salinars. Falls bekannt, wurden die Lagerstättengrenzen eingetragen (Raster). Die Buchstaben A bis I bezeichnen die untersuchten Detailprofile (vgl. Abb. 4 und 20); die mit „S“ versehenen Zahlen beziehen sich auf die S-Isotopenproben (vgl. Tab. 4). Grundlage der Geologie ist eine unpublizierte Lagerstättenkarte des Haller Salzberges von O. SCHAUBERGER (1946).



lichtempfindlichen Steinsalzes zusammen mit blauvioletttem Faser- und Blättersalz und dem gleichfalls hellbläulichen Fasergips streng an den Dolomitanhydrit gebunden ist (SCHAUBERGER, 1935, 1986; PRZIBRAM, 1936; PRZIBRAM & SCHAUBERGER, 1935). Die Ursache der Strahlungsverfärbung (Gelb über Blau bis Violett) wird allgemein im radioaktiven Zerfall sog. Sensibilisatoren im Kristallgitter vermutet (vgl. KIRCHHEIMER, 1976 cum lit.).

Die Mikrofazies der Dolomite (Calcit wurde nie im XRD festgestellt) ist durch die Bank eintönig und durch große Fossilarmut, sowie das häufige Auftreten von Gips/Anhydrit/Porphyroblasten gekennzeichnet. Säureproben auf Mikrofossilien verliefen negativ.

### 3.1. Charakterisierung der Mikrofaziestypen (MFT)

#### MFT 1

##### **Sterile, undeutlich geschichtete, dismikritische Dolomite mit Evaporitkristallen**

Dieser sehr häufige Mikrofaziestyp besteht aus einer gänzlich schichtungslosen bis undeutlich feingeschichteten, braunen mikrosparitischen Dolomitmatrix, in der Gips-Einzelkristalle verstreut gesproßt sind (crystallopic anhydrite n. MAIKLEM et al., 1969). Diese wurden frühdiagenetisch in Anhydrit umgewandelt und liegen heute zur Hauptsache sekundär wieder zu Gips hydratisiert vor (Abb. 5, 6). Oft sind sie oberflächlich fast vollkommen herausgelöst, so daß kleinporige Dolomite vorliegen (solution-enlarged secondary mesovug porosity – CHOQUETTE & PRAY, 1970). In einem Fall wurde

auch beobachtet, daß sich diagenetisch gebildete Anhydritknöllchen (1,7 mm Durchmesser im Mittel) in Dolomitcement umgewandelt haben. An den Knollenrändern konnten noch eindeutig die Umrisse der pseudomorphosierten leistenförmigen Anhydritkristalle erkannt werden. Die postulierte Umwandlung geschah wohl über eine Calcit-Zwischenphase, die in der weiteren Folge dolomitisiert wurde (vgl. LANGBEIN, 1973: 64). Nicht selten enthalten diese Dolomitknollen nadelförmige, 80 µm lange authigene Turmalin-XX und Pyritkuben. Die wesentlich häufigeren Evaporit-Porphyroblasten lassen sich auf Grund ihrer Form eindeutig primären Gips-XX zuordnen (Abb. 5). So konnten Montmartre-Zwillinge und charakteristische diskoide Formen beobachtet werden. Deren Länge schwankt zwischen 0,08 und 1,4 mm, liegt im Mittel aber bei 0,4 mm.

#### MFT 2

##### **Biogenführende Mudstones**

Schwach geschichtete, bis bioturbate braungraue Dolomikrite mit zarten Schalenresten (Abb. 7), die zur Hauptsache Crustaceen-Panzern zugerechnet werden. Deren Schalenlänge beträgt 1,0 bis 1,8 mm. Vereinzelt finden sich auch Ostrakoden und Bivalven-Schalen (2,5 mm Länge). Eingeschaltet sind mm-dicke dolosiltische Lagen, reich an opakem Bitumenmaterial und winzigen Pyrit-XX, die oft erosiv in die mikritische Hintergrundsedimentation eingreifen (z.T. schräggeschichtet). Die bisweilen anzutreffende Bioturbation dieses MFTs äußert sich einerseits in einer fleckig-diffusen Entschichtung, andererseits in einzelnen diskreten, schrägen wie lotrechten Grab- bzw. Freßgängen (bis 7,5 mm Durchmesser).

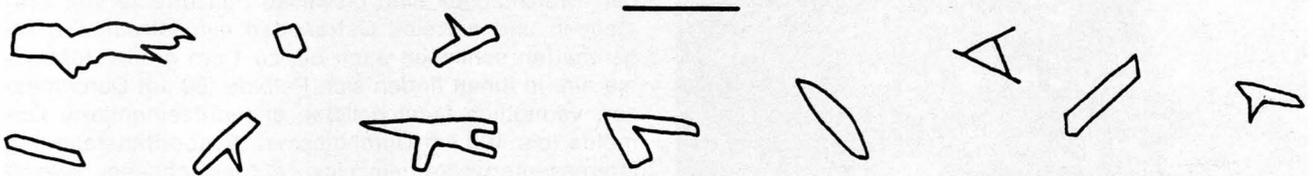


Abb. 5.  
Gipskristallformen und Lösungsporen in Dolomikriten.  
Die Länge des Maßbalkens ist 1 mm.

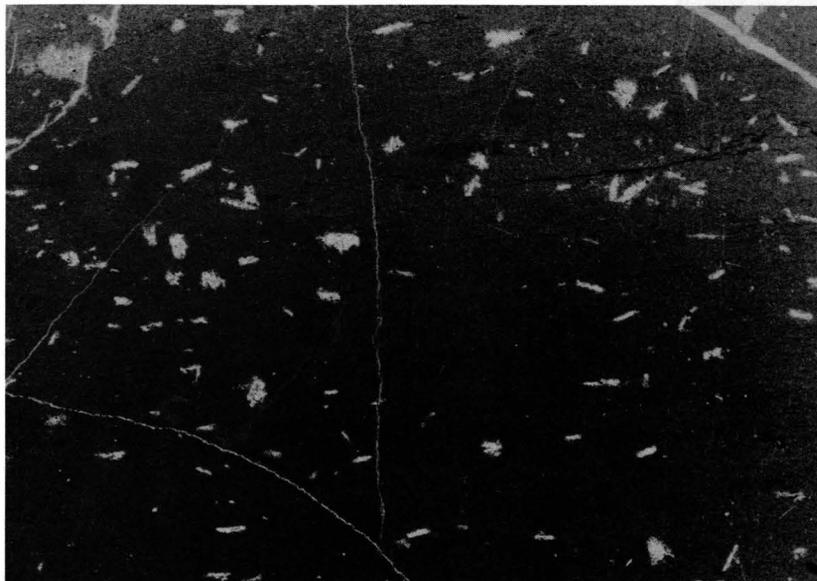


Abb. 6.  
Fossilfreier, feingeschichteter Dolomikrit mit Lösungshohlräumen von Gips-Kristallen.  
MFT 1; Probe KAl 14; Bildbreite = 17 mm.



Abb. 7.  
Über einer schräggeschichteten Pelmikritlage mit umgelagerten Stillwasserooiden sedimentierte ein packstone, bestehend aus fecal pellets, Intraklasten und Crustaceen-Panzern. Lokal kam es zur Gipsknöllchenbildung (oben).  
MFT 5/6; Probe WI 5; Bildbreite = 17 mm.

**MFT 3  
Biogenführende stromatolithische Bindstones**

Dieser Mikrofaziestyp wurde nur in einem Profil beobachtet (s. Abb. 4). Er ist charakterisiert durch einen welligen, unregelmäßigen und unebenen Aufbau aus 0,2–0,5 mm dicken mikrosparitischen Lagen, die mit einer dunklen Organika-reichen Lamina abschließen (Abb. 8). Letztere weist oft blumenkohlartige Oberflä-



Abb. 8.  
Fossile Mikrobenmatten (Stromatolithe).  
MFT 3; Probe KÖ 1d; Bildbreite ist 17 mm.

chendifferenzierungen auf. Manchmal läßt die Erhaltung dieser Laminae noch das Erkennen fädiger, unverzweigter *Girvanella*-ähnlicher Algen zu (bis 1 mm lang, 50 µm Lumen – vgl. MÖLLER, 1985: Taf. 6/1).

Die Laminiten werden als fossile Mikrobenmatten (MONTY, 1980; MONTY et al., 1987; BAULD, 1981; FRIEDMAN & KRUMBEIN, 1985) interpretiert und können etwa mit dem LLH-S-Stromatolithtyp von LOGAN et al. (1964) verglichen werden. Auffallend ist das An- und Abschwellen ein und derselben Matte innerhalb der kurzen Distanz von wenigen mm, sowie das diskordante Darüberwachsen der späteren Mattengenerationen. An den Grenzflächen sind bisweilen Panzerreste von Crustaceen und einzelne Ostrakoden eingestreut. Die Algenmatten schließen auch bis zu 1 cm große Hohlräume ein. In ihnen finden sich Peloide (80 µm Durchmesser, vermutlich fecal pellets), anhydritzementierte Oomolds (bis 400 µm Durchmesser), Evaporitkristalle und interessanterweise einzelne aufgewachsene Kieselchwämme. Bei diesen flachen, bis 1 cm großen Strukturen (Abb. 9) handelt es sich mit Sicherheit um dictyide Hexactinellidae (Bestimmung Prof. H. MOSTLER).

**MFT 4  
Bioturbate Pelmikrite**

Vollkommen durchwühlte braune Dolomikrite mit stark kompaktierten dunklen 80–160µm großen Peloiden (vermutlich fecal pellets). Ein Bohrgang von 12 mm Durchmesser konnte beobachtet werden. Fossilreste fehlen.

**MFT 5  
Flasergeschichtete Pelmikrite mit Evaporit-Kristallen**

Eben- bis schräg geschichtete, dicht gepackte Peloid-Grainstones bzw. -Packstones. Es handelt sich dabei um längliche (meist 250–400 µm lange), im Querschnitt ±kreisförmige Partikel (Abb. 10), die vereinzelt Ähnlichkeiten mit uniserialen Foraminiferen (etwa der Gattung *Earlandia* PLUMMER – vgl. BRÖNNIMANN et al., 1972) aufweisen (frdl. Mitt. Doz. W. RESCH), zum überwiegenden Teil aber um fecal pellets von Crustaceen.

Durch unterschiedlich rasche Zementation der umgelagerten pellets entstanden Lagen von wenig verdrückten Formen und solche mit stark kompaktierten flatschenförmigen pellets. Einsedimentiert sind ferner mi-

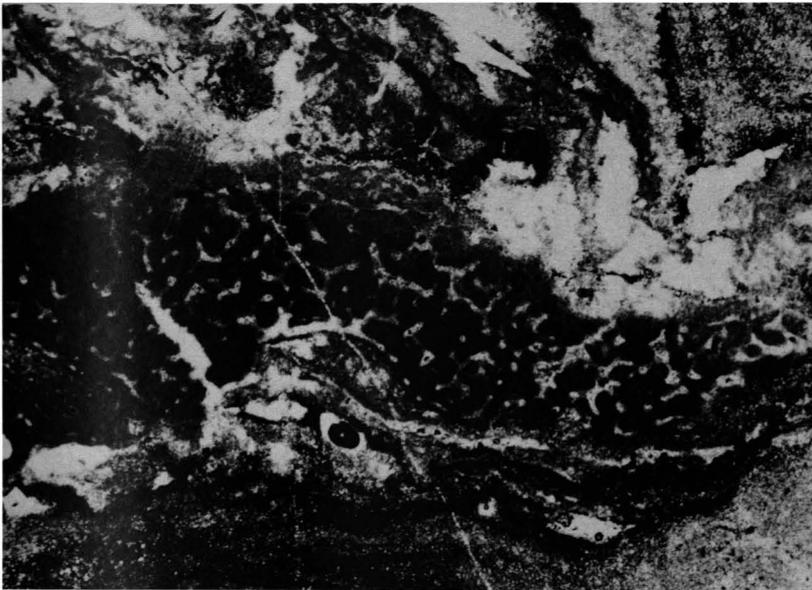


Abb. 9.  
Auf einer Stromatolithlage aufgewachsener hexactinellider Schwamm.  
Probe KÖ 1c; Bildbreite 9,3 mm.

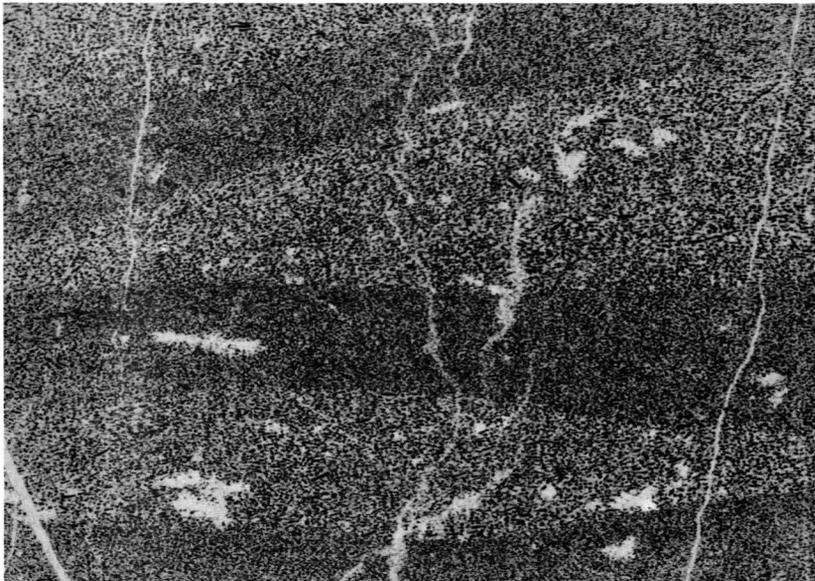


Abb. 10.  
Schräggeschichteter fecal pellet-packstone mit einzelnen Evaporitlöschungshohlräumen.  
MFT 5; Probe KÖ 3a; Bildbreite = 5 mm.

kritische Intraklaste (bis 8 mm Länge), sowie manchmal Schalenreste. Diagenetisch sproßten bisweilen Gips-Kristalle, die heute als Anhydrit vorliegen und bis zu kleinen, maximal 1 cm großen Knöllchen koaleszierten (vgl. SHEARMAN, 1985).

#### **MFT 6 Oopelmikrite**

Nur in 2 Profilen wurden 80–240 µm messende Ooide angetroffen. Sie liegen damit im unteren Größenbereich von Ooiden (vgl. FLÜGEL, 1982: Fig. 18). Die Erhaltung ist schlecht, doch konnte der interne Aufbau noch verschwommen erkannt werden: es handelt sich um typische radial-fibröse Stillwasserooide, deren Rinde vielfach mikritisiert ist. Oft sind die Nuklei aufgelöst. In manchen Fällen kann auch von Cortoiden (sensu FLÜGEL, 1982) gesprochen werden, da die eigentliche Hülle lediglich ein „micrite envelope“ darstellt. Die Ooide liegen umgelagert in braunem Pelmikrit.

Bruchstücke dieses MFT wurden einerseits in Dolomitklasten innerhalb der Anhydritbrekzien (MFT 10), andererseits in Komponenten der das Salinar umgebenden Reichenhaller Brekzien und Rauhacken wiedergefunden (s. u.).

#### **MFT 7 Schräggeschichtete kompaktierte Pelmikrite**

Hierbei dürfte es sich um die laterale Fortsetzung des MFT 5 handeln: Sterilen, nur andeutungsweise geschichteten Dolomikriten (MFT 1) sind eben bis schräg geschichtete Lagen (maximal 3,5 mm dick) von fecal pellets eingeschaltet. Diese sind gänzlich zu 80–230 µm langen Flatschen kompaktiert. Damit zusammen kommen Filamente (? Ostrakoden) vor. Stark hypersalines Porenwassermilieu wird durch die immer wieder zu beobachtende lagenweise Anreicherung von frühdiagenetischen Gips/Anhydritkristallen bezeugt, die bisweilen zu winzigen Sulfatknöllchen zusammengewachsen sind.

#### **MFT 8 Dolomitanhydrite**

Hier sind jene Dolomite zusammengefaßt, die in direkter enger Wechsellagerung mit Anhydriten stehen. Mikrofaziell handelt es sich um steril-dichte Dolomikrite, die bisweilen 80–250 µm lange, völlig mikritisierte Peloiden führen, hauptsächlich jedoch vollgespickt sind mit feinsten Anhydrit-Kriställchen (Abb. 11). Die Länge dieser leistenförmigen bis nadeligen Kristalle schwankt

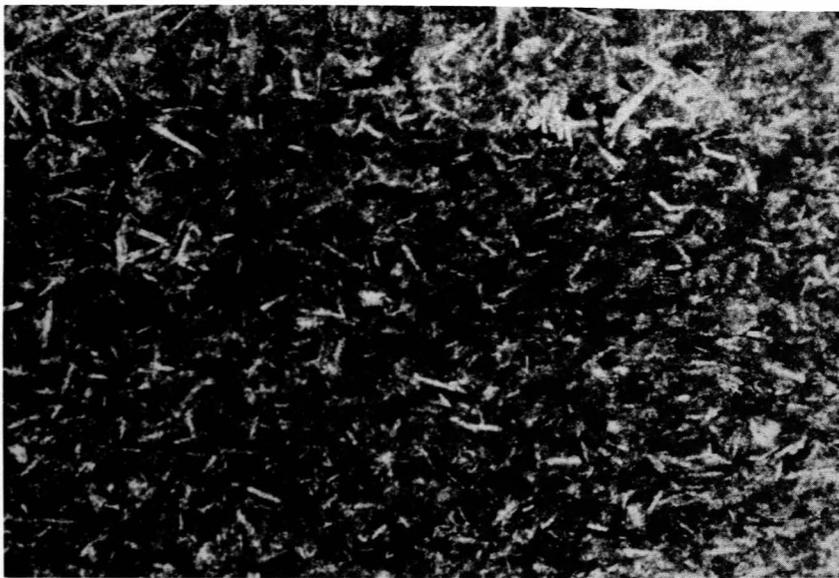


Abb. 11.  
Dolomikrit, vollgespickt mit feinsten nadeligen Gipskristallen.  
MFT 8; Probe KAI 20b; Bildbreite = 9,3 mm.

zwischen 40 und 280  $\mu\text{m}$  (meist 150  $\mu\text{m}$ ) bei einem L/B-Verhältnis von ca. 10. Das Gefüge kann als regelloses fibröses Mikrogefüge (LANGBEIN, 1979) bezeichnet werden. Makroskopisch erkennbar ist eine rhythmische Wechsellagerung von einigen mm bis 1 cm dicken Dolomitlagen mit etwa gleich mächtigen Anhydritlagen. Anhydritknollenstrukturen bzw. Vergrößerung der Evaporit-XX gegen oben hin konnten nicht beobachtet werden.

Die Anhydritlagen selbst bauen sich aus einem rekristallisierten xenomorph-granoblastischen Pflastergefüge – vgl. LANGBEIN (1964) – (Korngröße im Mittel 650  $\mu\text{m}$ ) auf. Primär-sedimentäre Anlagerungsgefüge (vgl. SCHREIBER, 1978) sind völlig überprägt worden.

#### MFT 9 Anhydrite

Sedimentäre Kleingefüge (vgl. SCHREIBER et al., 1976, 1982; GEISSLER-CUSSEY, 1986) sind bislang nicht gefunden worden.

Durch gänzliche Umkristallisation der Anhydrite ist der sedimentäre Lagerbau nur mehr durch tonig-dolomitische Schlieren und wellige Laminae im Zehntel-mm bis mm-Abstand angedeutet (unregelmäßig fein bis mittel gestreifter Anhydrit n. JUNG [1958], bedded massive anhydrite structure n. MAIKLEM et al. [1969]). Häufig sind die Anhydritlagen gefältelt und leicht zerbrochen (ropy bedded anhydrite structure – MAIKLEM et al., l. c.).

In diesem Zusammenhang sei kurz auf den Mechanismus der sekundären Vergipsung hingewiesen: Sie beginnt an den Korngrenzen und Spaltrissen der Anhydrit-XX. Von dort wird zentripetal das Korn umgesetzt, so daß ein erster Eindruck im Dünnschliff entfernt an ein brekziöses Gefüge erinnert, in dem Anhydrit-XX in einer Gipsmatrix „schwimmen“. Das Endprodukt ist ein hypidiomorphes Gipsblastengefüge (alabastrine secondary gypsum type n. HOLLIDAY [1970]).

#### MFT 10 Anhydritbrekzien

Wie bereits eingangs gesagt, besteht dieses für den Haller Salzberg so bezeichnende Gestein aus einer Anhydritmatrix, in der Dolomit-, Magnesit- und Anhydritklasten, sowie vereinzelt grüne Sandsteinkomponenten „schwimmen“. Betont werden muß die gute Sortierung

dieser Komponenten: Deren Größe schwankt zwischen mm bis maximal 1 dm, liegt jedoch meist bei 1–3 cm. In der schon z. T. in Vergipsung begriffenen verschiedenkörnig-granoblastischen Anhydritmatrix sproßten ferner idiomorphe, meist of mehrfach zonar gebaute maximal 0,88 mm große Magnesit-XX (XRD). Sie haben poikiloblastisch reichlich Anhydrit- und Dolomitpartikel eingeschlossen.

Komponentenbestand der Brekzien

- Sterile, ungeschichtete mudstones (MFT 1), z. T. reich an Pyrit-XX
- Oomikrite und Oopelmikrite (MFT 5, 6). Alle Übergänge von unkomprimierten gut erhaltenen Ooiden zu stark komprimierten „Flatschen“. Die Ooide lassen z. T. noch radial-fibröse Textur erkennen; meist sind sie jedoch von einer mikritischen Hülle umgeben oder gänzlich umkristallisiert.
- Dolomit-Anhydrit-Laminite (MFT 8)
- Anhydrite (MFT 9)
- Eine Mikritkomponente mit Coelestin-XX (XRD-Identifikation).

Somit findet sich i. w. das gesamte Lithofaziesspektrum der Dolomitanhydrite in den Anhydritbrekzien als Bruchstücke wieder. Festzuhalten ist, daß bei einer Komponentenanalyse diffraktometrisch häufig ein fast Fe-freier Magnesit neben Dolomit, z. T. aber auch völlig in Magnesit umgesetzte dunkle Klasten festgestellt wurden. Calcit fehlt stets.

Bei der genetischen Deutung dieser mächtigen Anhydritbrekzien kann eine sedimentäre Entstehung (etwa in Form von debris flows – vgl. MEIER, 1977; SCHLAGER & BOLZ, 1977) auf Grund fehlender Strukturmerkmale und Wechsellagerung mit ziemlicher Sicherheit ausgeschlossen werden. Gegen Kollaps-Brekzien spricht die anhydritmatrixgestützte Textur und geringe Porosität. Somit dürfte die Hauptmasse dieser Brekzienkörper durch Kataklyse entstanden sein, wofür die angularen Komponenten und die scharfe Begrenzung zu den normal geschichteten Bereichen spricht.

#### MFT 11 Dolomit/Magnesit-Wechsellagerungen

Dieser MFT ist charakterisiert durch einen feingeschichteten Dolomikrit, erfüllt von winzigen Anhydritkriställchen (meist 100  $\mu\text{m}$  Länge), in dem es zur begin-

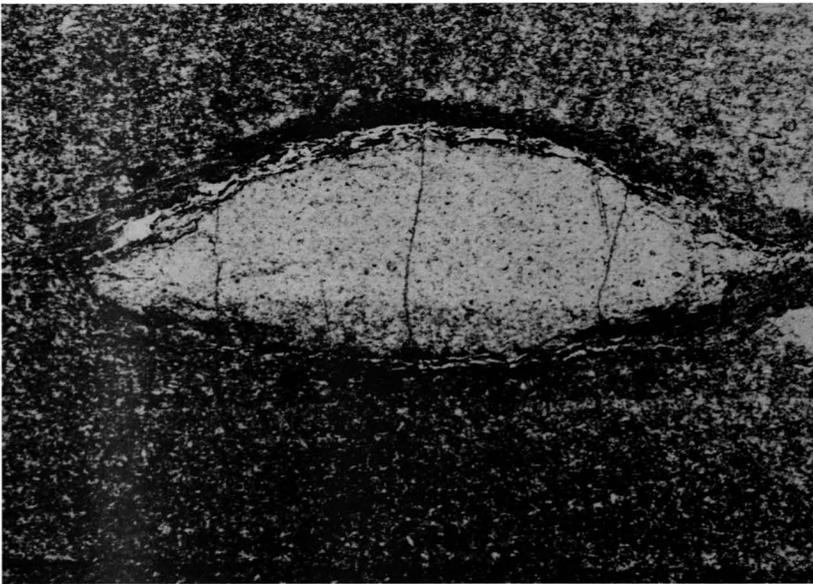


Abb. 12.  
Konkretionäre Magnesitbildung in sterilen Dolomitmikriten, erfüllt von feinen Anhydritkristallen.  
MFT 11; Probe KAI 23; Bildbreite = 9 mm.

nenden Magnesitknollenbildung kam (0,5–1 mm im Durchmesser). Aus diesen noch diffus begrenzten, verstreut liegenden Knöllchen bildeten sich einzelne, ellipthische, bis 6 mm lange, wohl begrenzte, einschlußreiche konkretionäre Magnesitknollen (Abb. 12). Einzelne mm-dicke, durch Anhydritschnüre und rückstandsreiche Bestege getrennte Magnesit-Breunneritlagen bilden das Endprodukt. Letzere sind oft zerbrochen und leicht rotiert. Dieses Magnesitgefüge könnte durchaus noch Resten eines Primärbestandes entsprechen (vgl. FRIEDRICH, 1959: 394).

## MFT 12

### Metasomatische Magnesitgefüge

Hierunter werden die für den altbekannten „Haller Magnesit“ typische Gefügebilder subsummiert, die in Schlifften des Magnesitvorkommens beim Kripp Schurf festgestellt wurden (Abb. 13). Hingewiesen werden soll hier zum einen auf die gefügekonservierende Eigenschaft der Mg-Metasomatose, zum anderen auf die oft zu beobachtenden Anwachssäume der Magnesit-XX. Erstere gestattet es selbst in einem Pinolithmagnesit noch, das Paläosom zu bestimmen: Es handelt sich bei dem untersuchten Vorkommen um sterile Dolomikrite

bzw. Oopelmikrite (MFT 1 und 6) – vgl. HIMMELBAUER, 1931: 350; PETRASCHECK, 1932: 224; LEITMEIER & SIEGL, 1954: 206, 225. Recht häufig konnte eine Pyritmineralisation beobachtet werden.

Die Anwachssäume der 0,25–5,0 mm großen, je nach Schnittlage hexagonal bis prismatischen Magnesit-XX weisen eine Stärke von 80–400  $\mu\text{m}$  (meist 120  $\mu\text{m}$ ) auf. Die Dicke der klaren, einschlußfreien Anwachssäume, die innerhalb der Schlitte  $\pm$  gleich bleibt, kann so bei kleinen Kristallindividuen bis zu 75 % des Kristallvolumens ausmachen. Nicht selten konnte beobachtet werden, daß die Anwachssäume (stets gleiche optische Orientierung wie die Kerne) intern mehrere (bis zu 4) Wachstumsphasen erkennen lassen.

Neben einer metasomatischen Breunneritgenese (bei höchstens anchimetamorphen Bedingungen – vgl. KRALIK et al., 1987, KRUMM, 1984) ist mit großer Wahrscheinlichkeit auch ein primärer Altbestand als diagenetische Bildung im Bereich des evaporitischen Milieus anzunehmen. Magnesit tritt rezent vor allem in Sabkha-Environments auf (vgl. KINSMAN, 1969; BUSH, 1973; PERTHUISOT, 1980; PUEY MUR & INGLES URPINELL, 1987). Für eine diagenetische Entstehung sprechen neben den Gefügebeobachtungen auch geochemische Krite-

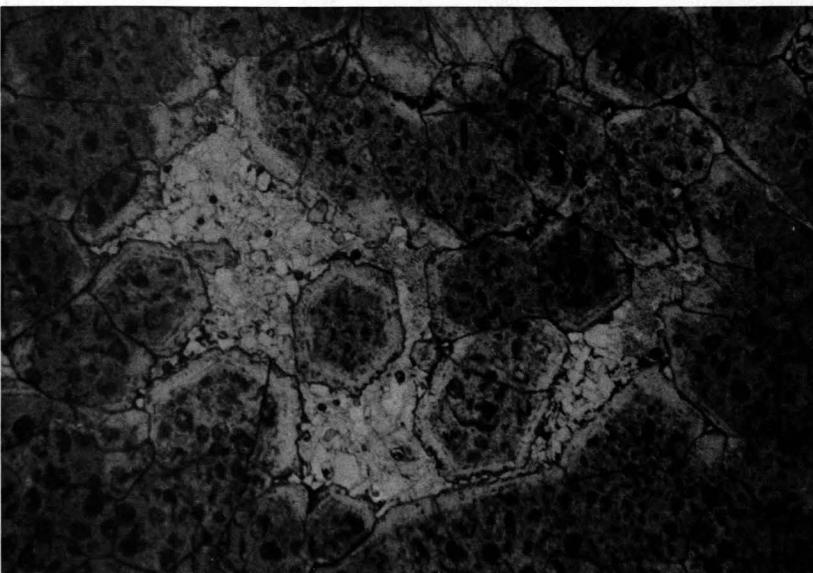


Abb. 13.  
Metasomatisches Breunneritgefüge mit hypidiomorphen bis idiomorphen Breunneritkristallen, die einen zonar gebauten Saum aufweisen. Anhydrit bildet die Grundmasse.  
MFT 12; Probe KAI 29; Nicols ||; Bildbreite = 7 mm.

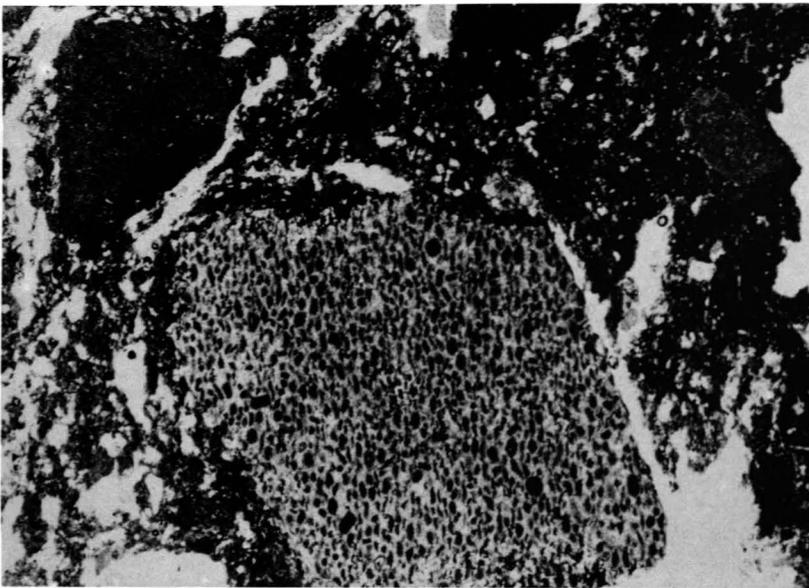


Abb. 14.  
Reichenhaller Brekzie vom Fuß der Steinbergwand im Halltal. Dicht bepackte Pelmicritklasten bilden die Hauptmasse der Komponenten.  
Probe Nr. 76; Bildbreite = 17 mm.

rien: B-Gehalte zwischen 10 und 20 ppm (BRANDENSTEIN & SCHROLL, 1960) und charakteristische  $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnisse (SCHROLL et al. 1986).

**MFT 13  
Reichenhaller Kalkbrekzien und Rauhacken (obertags)**

Hier sei nur noch kurz darauf hingewiesen, daß in den das Salzlager umgebenden Reichenhaller Rauhacken und Brekzien die meisten MFT der darunterliegenden Dolomitanhydritschollen als Klasten wiedergefunden wurden: MFT 1, 5, 6, 8 (Abb. 14). Die Grundmasse dieses hochporösen Gesteins bildet ein hellbraunes, tonreiches, komplett unsortiertes dolomitisches Calcitgemenge mit reichlich Karbonatbruchstücken und Gips als Porenfüllung. Die Komponenten sind nach XRD-Analysen Calcite oder Dolomite; Magnesite wurden in keiner Probe festgestellt. Die Annahme einer Kollaps-Brekzie (vgl. STANTON, 1966; WARRAK, 1974; MAMET et al., 1986) durch partielle Auslaugung des Salinaruntergrundes würde die frappierende Übereinstimmung in der Mikrofazies zwischen Brekzienkomponenten und liegendem Dolomitanhydrit-Komplex am besten erklären.

Eine ganz ähnliche Zusammensetzung des Komponentenspektrums weisen die Proben der Reichenhaller Brekzien des Salinarausbisses im obersten Hasenbachgraben auf (NE Hall i. T.).

**4. Mineralogische und geochemische Unterlagen**

**4.1. Zusammensetzung der Dolomite**

Diffraktometrisch wurde an 26 Dolomitproben des Dolomitanhydrits Ordnungsgrad und Ca-Gehalt des Dolomitgitters bestimmt. Der Ca-Gehalt liegt sehr uniform im Mittel bei 50,5 Mol.-% (s. Abb. 15), was einem stöchiometrischen Dolomit sehr nahe kommt. Das deckt sich gut mit Daten aus der Literatur, wonach bei

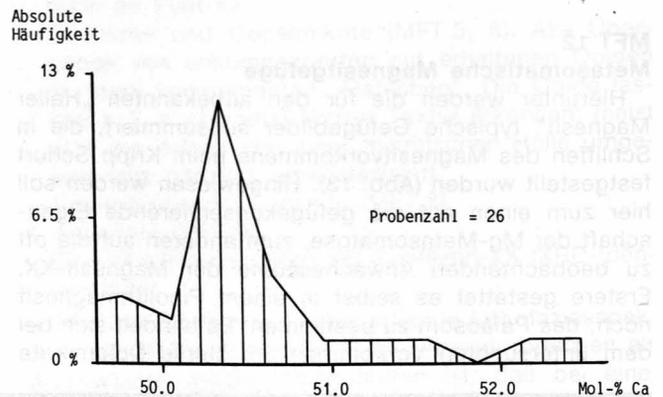


Abb. 15.  
Histogramm-Darstellung des Ca-Gehaltes der Dolomite.

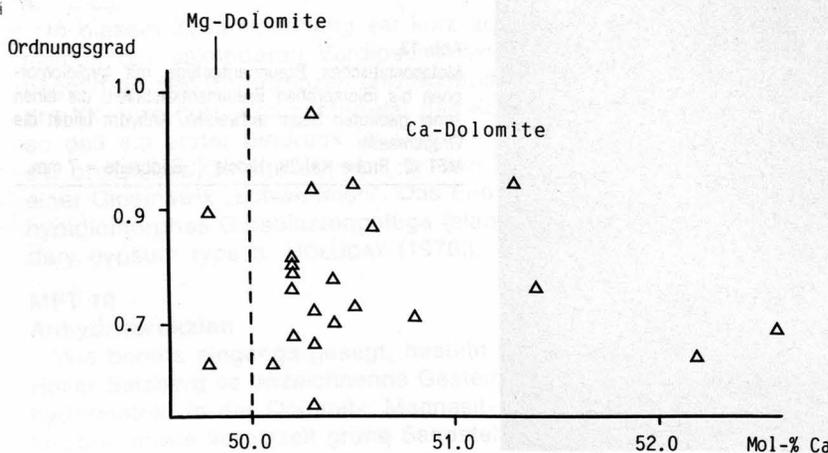


Abb. 16.  
Streubereich der Ca-Gehalte und Ordnungsgrade der untersuchten Dolomite.

salinar gebildeten, frühdiagenetischen Dolomiten ein deutlicher Trend zu stöchiometrischer Zusammensetzung festzustellen ist (GOLDSMITH & GRAF, 1958: 692, FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT, 1965; FÜCHTBAUER, 1972; LUMSDEN & CHIMAHUSKY, 1980; M'RABET, 1981). Der Ordnungsgrad liegt im Mittel bei 0,76 (0,54–1,06) und zeigt keine erkennbare Korrelation mit der mineralogischen Zusammensetzung der Dolomite (Abb. 16). Generell wäre bei einer größeren Streuung der Werte (besonders in Richtung Ca-Dolomite) eine statistische Abnahme des Ordnungsgrades zu erwarten (FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT, 1965: Abb. 2; MÖLLER, 1985: Abb. 6). Um den Einfluß des Fe<sup>2+</sup>-Kations auf die Verschiebung des Dolomit-Hauptreflexes abzuschätzen (bekanntlich führt ein diadocher Einbau von 1 Gew.-% FeO zu einer äquivalenten Verschiebung von 0,3 Mol.-% – vgl. MÖLLER, 1985: 16) wurden die mittels AAS ermittelten Fe-Gesamtgesteinsgehalte gegen den Ca-Gehalt der Dolomite aufgetragen. Erwartungsgemäß konnte bei den konstant niederen Fe-Gehalten (2300 ppm im Mittel) keine positive Korrelation festgestellt werden, so daß die gemessenen d<sub>104</sub>-Werte lediglich den schwankenden Ca-Gehalt widerspiegeln dürften (innerhalb der Fehlergrenze von 0,5 Mol.-% Ca).

#### 4.2. Zusammensetzung der Breunnerite

An grobkristallinen Magnesitproben wurden Mikrosondenanalysen der Kerne und Anwachssäume durchgeführt – Abb. 17. Während die Kerne recht konstante Zusammensetzung aufweisen, zeigen die zonierten, helleren Anwachssäume deutlich höherer Fe- und Mn-Gehalte (Tab. 1), die größeren Schwankungen unterworfen sind. Fe- und Mn-Gehalte weisen eine gute positive Korrelation auf (Abb. 18).

Tabelle 1.  
Durchschnittliche Zusammensetzung der Breunneritkristalle in Gew.-% (145 Analysen).  
In Klammer die Angaben in Mol.-% RCO<sub>3</sub>.

	Kerne	Anwachssäume
MgO	42 (87,8)	39 (81,6)
FeO	5 (8,1)	13 (21)
MnO	0,9 (0,5)	1,2 (1,9)
CaO	0,1 (0,2)	0,01 (0,02)

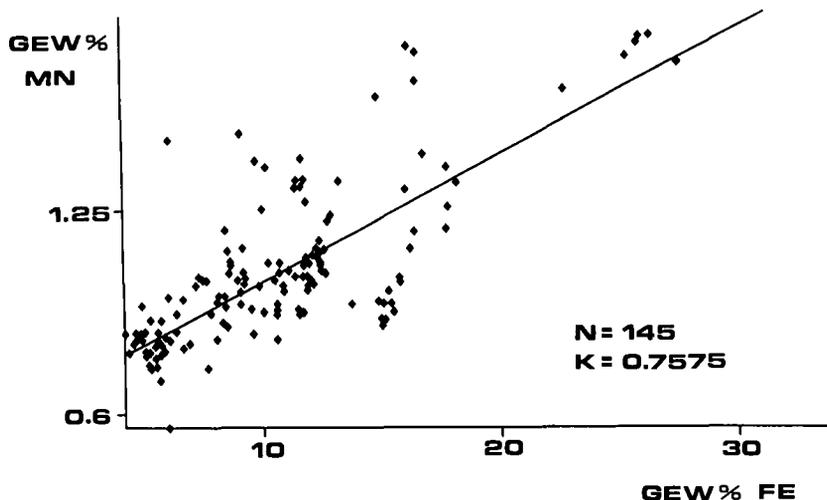


Abb. 18.  
Lineare Korrelation Fe/Mn von Haller Breunneriten.

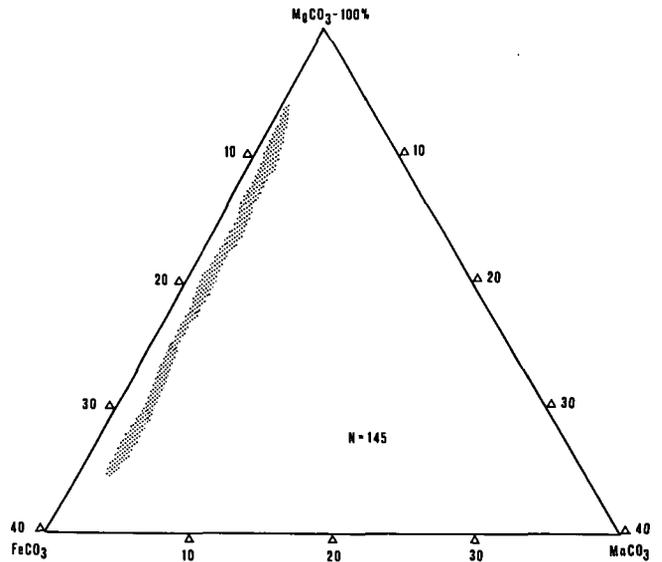


Abb. 17.  
Teilausschnitt aus dem Dreiecksdiagramm Magnesit – Siderit – Rhodochrosit mit Lage der Proben des Haller Salzberges.

Abb. 19 zeigt einige Sondenprofile durch Anwachssäume. Generell läßt sich ein Trend zu Fe-reicheren Mischkristallen der Reihe Magnesit-Siderit feststellen. Während die Kerne noch als Magnesite anzusprechen sind, handelt es sich bei den Anwachssäumen um Breunnerite (sensu MEIXNER, 1953). Diese ersten vorläufigen Resultate decken sich gut mit den Ergebnissen von NIEDERMAYR et al. (1981: Tab. 3), der an 4 Proben des Haller Salzberges (Fundort ungenannt) Schwankungsbereiche von 0–30 Mol.-% (Fe,Mn)CO<sub>3</sub> feststellte.

Eine Interpretation der ermittelten Daten im Verein mit den experimentellen Ergebnissen von JOHANNES (1969, 1970) würde bedeuten, daß im Zuge der Mg-Metasomatose bei sinkenden Temperaturen immer Fe-reichere Mischkristalle des MgCO<sub>3</sub>-FeCO<sub>3</sub>-Systems entstanden sind (vgl. NIEDERMAYR et al., 1981; BERAN, 1985).

#### 4.3. Geochemische Untersuchungen

Von 26 Dolomitanhydrit- und 12 Magnesitproben des Haller Salzberges wurden in HCl-Auflösungen folgende Haupt-, Neben- und Spurenelemente bestimmt: Ca,

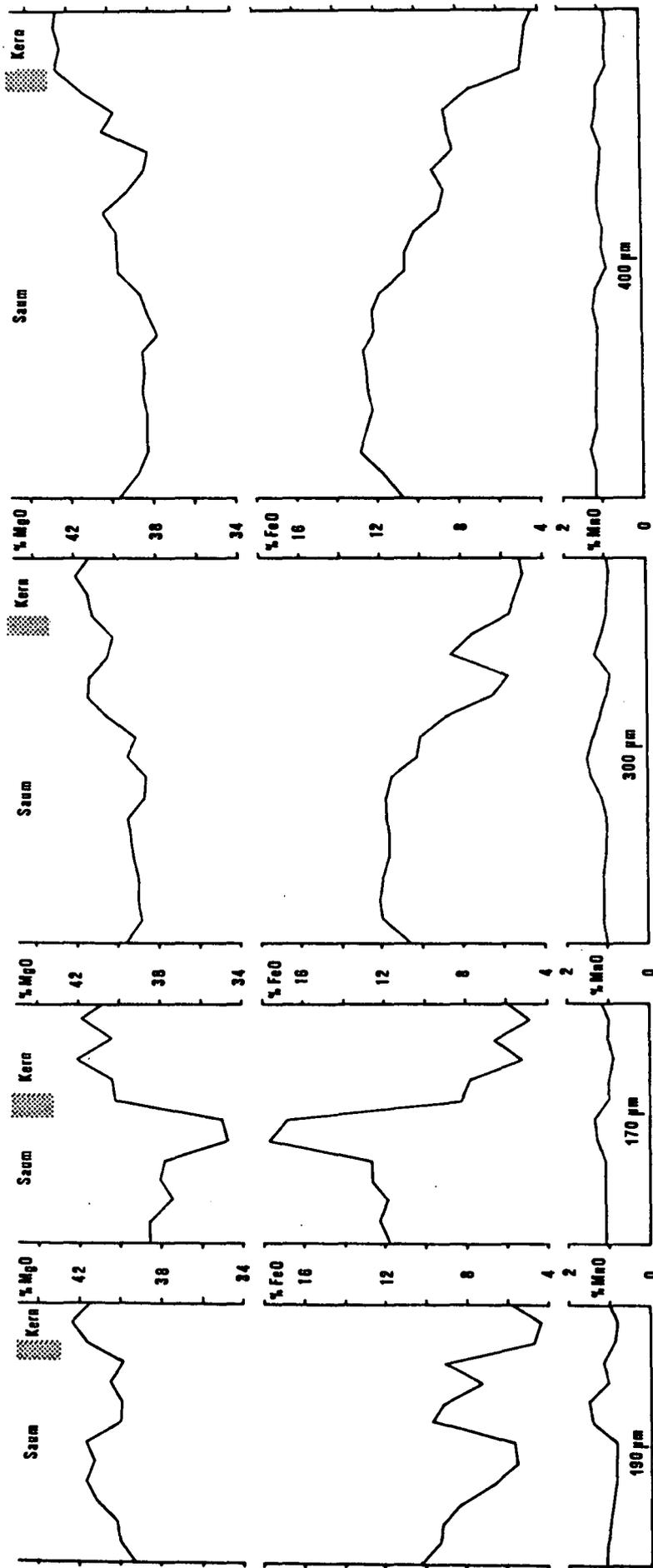


Abb. 19. Ausgewählte EMPA-Profile durch metasomatische Breunnerikristalle vom Vorkommen beim Kripp-Schurf/Kaiserberg-Horizont.

Tabelle 2.

Übersicht über einige Neben- und Spurenelement-Konzentrationen (Mittelwerte und Reichweiten). Bei Cu und Pb sind auf Grund der geringen Probenzahl keine Mittelwerte angegeben.

Lithologie	Fe [ppm]	Mn [ppm]	Sr [ppm]	Zn [ppm]	Cu [ppm]	Pb [ppm]
Dolomite	2.300 (770-9.300)	400 (64-4.700)	1.260 (86-6.400)	24 (1-170)	6-10	8-15
Anhydrite	1.560 (80-9.600)	470 (9-6.250)	3.050 (985-19.600)	42 (3-523)	6-8	8-52
Magnesite	19.100 (1.360-51.000)	5.000 (15-10.000)	790 (23-3.300)	36 (11-83)	n.b.	n.b.

n.b. = nicht bestimmt.

Mg, Fe, Mn, Sr, Zn, bei wenigen Proben auch Cu, Pb und SO<sub>4</sub>. Ziel der Analysen war es, erste geochemische Trends in der Spurenelementzusammensetzung herauszufinden (s. Tab. 2).

Folgende Trends konnten festgestellt werden:

- Sr-Anreicherung mit steigender Evaporation.
- Magnesite (Breunnerite) haben höhere Fe, Mn und z. T. Zn-Gehalte als die Dolomite, aus denen sie (zum Großteil) metasomatisch hervorgegangen sind.
- Mit zunehmender Salinität sinkt erwartungsgemäß der Gehalt an Fe und Mn (bei letzterem weniger

deutlich ausgeprägt), die zur Hauptsache an die Karbonatphase gebunden sind, während sich die analysierten Spurenelemente Zn, Cu und Pb (an den unlöslichen Rückstand geknüpft) kaum ändern. Als Beispiel für eine detaillierte profilmäßige Durchmusterung sei Abb. 20 angeführt, ein Profil im Dolomitanhydrit-Komplex des Erzherzogsberges (Tab. 3).

### 5. Schwefelisotopdatierungen

Die Alterseinstufung von Ca-Sulfatgesteinen durch Analyse des <sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S-Verhältnisses beruht auf einer weltweit korrelierbaren Änderung des δ<sup>34</sup>S-Wertes im marinen Milieu seit dem Phanerozoikum (CLAYPOOL et al., 1980). Beim heutigen Kenntnisstand ist im Grenzbereich Perm/Trias lediglich eine Diskriminierung von oberpermisch-unterskythischen Werten (um +10‰) und oberskythisch-unteranisischen (um +25‰) möglich (HOLSER, 1984; JIN-SHI & XUE-LEI, 1988) dürfte sich allerdings bereits im mittleren Skyth mit Werten um +15‰ abzeichnen, was z.Z. Gegenstand von Untersuchungen in den Südalpen ist.

Die gemessenen Werte stimmen sehr gut mit älteren Angaben oberskythisch-unteranisischer Evaporite in

Tabelle 3.

Korrelationsmatrix der Dolomite und Anhydrite. Probenzahl: 43. Die Werte geben den linearen Korrelationskoeffizienten bei einem confidence level ≥ 90,0 % an.

	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Sr	Fe	Mn
Ca	0,7872					
Mg	-0,7201	-0,8684				
Sr	0,4153	0,4447	-0,4735			
Fe	-0,4063	-0,7287	0,6818	-0,4473		
Mn	-0,1969	-0,4081	0,3436	-0,2245	0,5351	
Zn	-0,1330	-0,0520	-0,1651	-0,2718	0,0250	0,0065

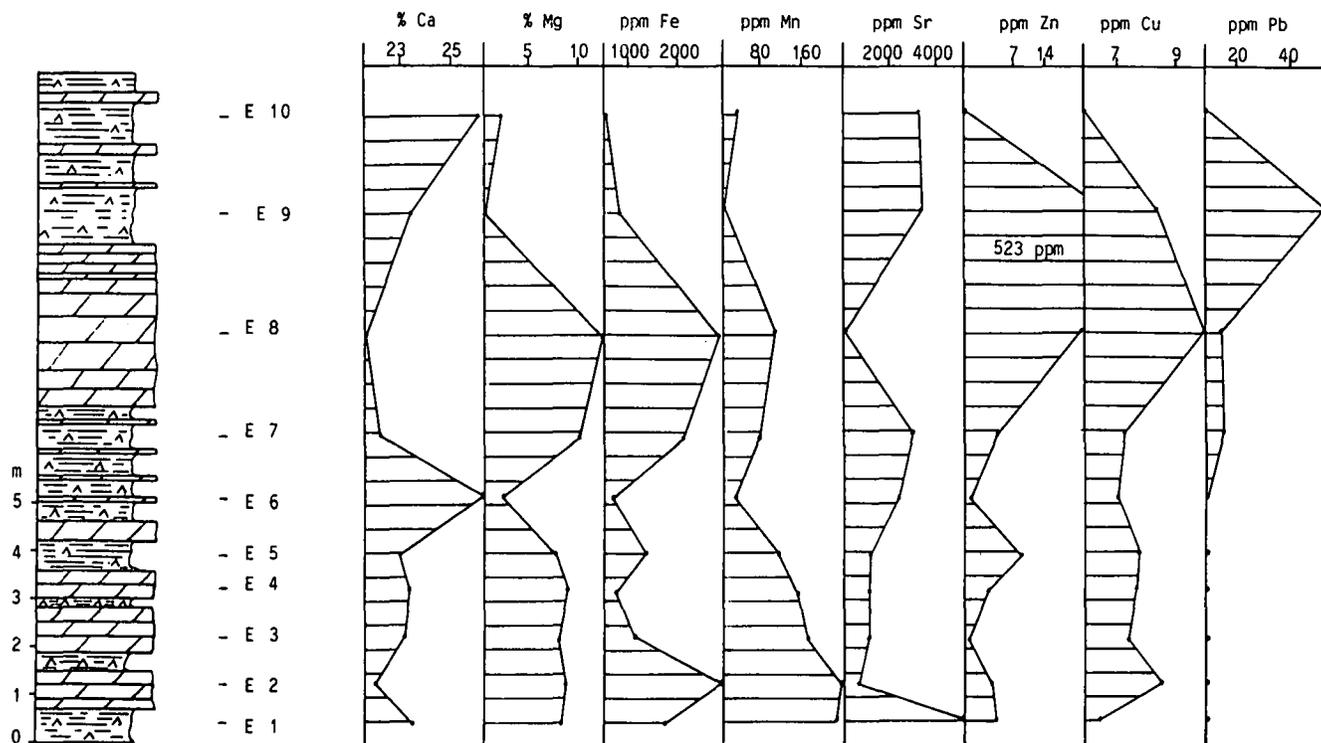


Abb. 20. Detailprofil I (siehe Abb. 3) aus dem Dolomitanhydrit-Komplex des Erzherzogsberg-Horizontes mit geochemischer Auswertung.

den Ost- und Südalpen überein (KLAUS, 1974; STREHL et al., 1980; CORTECCI et al., 1981; PAK & SCHAUBERGER, 1981; NIEDERMAYR, 1983; GÖTZINGER & PAK, 1983). Diese signifikant hoch positiven Delta-Werte werden weltweit etwa zeitgleich gemessen (Kompilation in WUENSCH et al., 1978; CLAYPOOL et al., 1980), wenn gleich die exakte stratigraphische Einbindung noch aussteht.

Tabelle 4.  
S-Isotopenwerte von Anhydriten des Dolomitanhydrit-Komplexes im Haller Salzberg.  
Die 1. Spalte bezieht sich auf Abb. 1 und 2. Die Probe V 1 stammt aus dem unmittelbar Liegenden der Reichenhaller Rauhwacken knapp neben dem Mundloch des Steinberg-Stollens.

	Probe	Lokalität	$\delta^{34}\text{S}$ [‰ CDT] $\pm$ 0,2 ‰
S 5	V 1	Steinbergwand/Halltal	+ 24,6
S 6	E 6	Erzherzogsberg-Horizont	+ 24,6
S 7	KAI 13	Kaiserberg-Horizont	+ 25,6
S 8	KAI 20	Kaiserberg-Horizont	+ 25,0
S 9	KAI 28	Kaiserberg-Horizont	+ 27,1
S 10	KÖ 4	Königsberg-Horizont	+ 24,5
S 11	KÖ 10	Königsberg-Horizont	+ 23,9
S 12	WI 7	Wicka-Schurf	+ 24,7

## 6. Fazielle Interpretation

Auf Grund der S-Isotopendaten scheint eine Zuordnung des Dolomitanhydritkomplexes zur Formation der Reichenhaller Schichten gerechtfertigt. Diese evaporitische Fazies konnte in mehreren Aufschlüssen im östlichen Karwendel- und Rofan-Gebirge vorgefunden werden (SPÖTL, 1987) und zeigt im Profil am Schichthals/Sonntagstell (Rofan) eine Wechselfolge von m-mächtigen Gipsbänken mit kavernen Dolomiten und bituminösen Kalken (mit *Neritaria stanensis* [PICHLER]). Eine ältere S-Isotopenanalyse (PAK, 1974: 191; dort unrichtigerweise als „Lachwaldspitze am Achensee“ designiert) bestätigt die Korrelation mit dem Vorkommen im Haller Salzberg.

Über den großfaziellen Rahmen z.Z. der Reichenhaller Sedimentation sind wir leider nur sehr ungenügend informiert (MILLER, 1965; SCHENK, 1967; KRAUTER, 1971; FRISCH, 1975). Sicher ist jedoch, daß grob gesprochen zur Zeit des Oberskyth-Unteranis („Reichenhaller Wende“ von SCHLAGER & SCHÖLLNBERGER, 1975) wiederholt hypersalinare bis evaporitische Bedingungen geherrscht haben, so daß es zur Bildung m-mächtiger Ca-Sulfat-Einschaltungen (z. B. Schichthals/Rofan) oder Rauhwacken (MOSTLER & ROSSNER, 1977, 1984) in einem stark siliziklastisch beeinflussten karbonatischen Environment kam.

Die Mikrofazies der Karbonate im Haller Salzberg spricht eindeutig für ein perennierend hypersalines bis evaporitisches Environment (SMF-Typen 20 und 23 n. FLÜGEL, 1982, Fazieszone 9 nach WILSON, 1975). Auf Grund des Fehlens sicherer Anzeichen für Emersion bzw. unmittelbare Landnähe und signifikanter Sedimentstrukturen (besonders bei den Anhydriten) kann hier nicht von einer typischen Küstensabkha im Sinne von HANDFORD (1981) gesprochen werden. Vielmehr müssen wir ein flaches Subtidal annehmen, in dem le-

diglich eine euryhaline Fauna leben konnte: Kleine Krebse, winzige Muscheln und Ostrakoden, sowie vereinzelte Kiesel Schwämme und Mikrobenmatten.

Die dunklen, stets leicht bituminösen Dolomikrite wurden nur vereinzelt von Benthos durchwühlt, was zusammen mit dem Auftreten von idiomorphen Pyrit-XX und dem bituminösen Geruch des Gesteins für ein häufig dys- bis anaerobes Milieu zumindest unterhalb der Sedimentationsoberfläche spricht. Durch eine relative Meeresspiegelsenkung begannen ab einer Konzentration der Porenwässer um etwa das 3,8-fache des normalen Meerwassers, Gips-Porphroblasten fröhdiaenetisch in dem nunmehr sterilen Mikrit- bis Pelmikritschlamm auszufallen (McCAFFREY et al., 1987). Sie schlossen sich jedoch nur in wenigen Fällen zu winzigen Anhydritknöllchen zusammen. Möglicherweise dürfte die Aktivität sulfatreduzierender Archaeobakterien einen Einfluß auf die anscheinend stark gehemmte Gipsbildung bei gleichzeitiger Mikritsedimentation ausgeübt haben (vgl. FRIEDMAN, 1972). Die überlagernden, meist dichten, granoblastischen Anhydrite setzten nämlich unvermittelt darüber ein (vgl. auch KENDALL, 1984: Fig. 19). Das Fehlen der vermittelnden chickenwire-Anhydrite und enterolithischer Typen kann u. U. auf sekundäre Umwandlungen zurückzuführen sein (vgl. SHEARMAN, 1985; VAN BERKEL, 1986).

Die gute Konservierung der fecal pellets und die Sr-Gehalte im Verein mit den Untersuchungsergebnissen an den mikritischen Dolomiten sprechen klar für eine fröhdiaenetische Dolomitbildung aus Aragonit bzw. Mg-Calcit und anschließende rasche Zementation. Nähere Aussagen über die Bildungsbedingungen der strukturarmen Anhydrite sind beim derzeitigen Wissensstand nicht möglich.

### Dank

Der Generaldirektion der Österreichischen Salinen AG/Bad Ischl sei für die Erlaubnis der Grubenbefahrung und Probenahme im stillgelegten Haller Salzberg gedankt. Für die bereitwillige Unterstützung und Zurverfügungstellung von Mitteln für die S-Isotopenbestimmung möchte ich Herrn Univ.-Prof. Dr. HELFRIED MOSTLER sehr herzlich danken. Herrn Univ.-Doz. Dr. RAINER BRANDNER sei für die kritische Durchsicht des Manuskripts Dank ausgesprochen.

### Literatur

- ANEGG, F. & EBENBICHLER, H.: Der Magnesit im Haller Salzberg – Unveröff. geol. Meldearb., 7 S., Leoben 1956.
- BAULD, J.: Occurrence of benthic microbial mats in saline lakes – Hydrobiol., **81**, 87–111, The Hague 1981.
- BERAN, A.: Magnesit-Siderit-Mischkristallbildungen als triadische Eisenvererzungen im Raum Abtenau, Salzburg – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 193–194, Wien 1985.
- BÖNNIMANN, P., ZANINETTI, K. & BOZORGNIA, F.: Triassic (Skythian) smaller foraminifera from the Erika formation of the central Alborz, northern Iran, and from the Siusi formation of the Dolomites, northern Italy. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., **21**, 861–884, Innsbruck 1972.
- BRANDENSTEIN, M. & SCHROLL, E.: Borgehalte in Magnesiten. – Radex Rdsch., **3**, 150–158, Radenthein 1960.
- BUSH, P.: Some aspects of the diagenetic history of the Sabkha in Abu Dhabi, Persian Gulf. – In: PURSER, B. H. (ed.): The Persian Gulf. Holocene carbonate sedimentation in a shallow epicontinental sea, 395–407, Berlin (Springer) 1973.
- CHOQUETTE, P. W. & PRAY, L. C.: Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. – AAPG Bull., **54/2**, 107–250, Tulsa 1970.

- CLAYPOOL, G. E., HOLSER, W. T., KAPLAN, I. R., SAKAI, H. & ZAK, I.: The age curves for sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation. – *Chem. Geol.*, **28**, 199–260, Amsterdam 1980.
- CORTECCI, G., REYES, E., BERTI, G. & CASATI, P.: Sulfur and oxygen isotopes in Italian marine sulfates of Permian and Triassic ages. – *Chem. Geol.*, **34**, 65–79, Amsterdam 1981.
- FLÜGEL, E.: *Microfacies analysis of limestones* – 633 S., Berlin (Springer) 1982.
- FRIEDMAN, G. M.: Significance of Red Sea in Problem of evaporites and basinal limestones. – *AAPG Bull.*, **56/6**, 1072–1086, Tulsa 1972.
- FRIEDMAN, G. M. & KRUMBEIN, W. E.: Hypersaline ecosystems. The Gavish Sabkha. – *Ecol. Studies*, **53**, 484 S., Berlin (Springer) 1985.
- FRIEDRICH, O. M.: Zur Genesis der ostalpinen Spatmagnetit-Lagerstätten. – *Radex Rdsch.*, **1**, 393–420, Radenthein 1959.
- FRISCH, J.: Sedimentologische, lithofazielle und paläogeographische Untersuchungen in den Reichenhaller Schichten und im Alpinen Muschelkalk der Nördlichen Kalkalpen zwischen Lech und Inn. – *Jb. Geol. B.-A.*, **118**, 75–117, Wien 1975.
- FÜCHTBAUER, H.: Influence of salinity on carbonate rocks in the Zechstein formation, north-western Germany. – In: RICHTER-BERNBURG, G. (ed.): *Geology of saline deposits – Proceedings of the Hanover Symp. 1968*, Earth Sciences, **7**, 23–31, Paris (UNESCO) 1972.
- FÜCHTBAUER, H. & GOLDSCHMIDT, H.: Beziehungen zwischen Calciumgehalt und Bildungsbedingungen der Dolomite. – *Geol. Rdsch.*, **55**, 29–40, Stuttgart 1965.
- GEISLER-CUSSEY, D.: Approche sédimentologique et géochimique des mécanismes générateurs de formations évaporitiques actuelles et fossiles. Marais salants de Camargue et du Levant espagnol Messinien méditerranéen et Trias lorrain. – *Mém. Sci. de la Terre*, **48**, 1–268, Nancy 1986.
- GOLDSMITH, J. R. & GRAF, D. L.: Relation between lattice constants and composition of the Ca-Mg-Carbonates. – *Am. Miner.*, **43**, 84–101, Lancaster 1958.
- GÖTZINGER, M. A. & PAK, E.: Zur Schwefelisotopenverteilung in Sulfid- und Sulfatmineralen triadischer Gesteine der Kalkalpen, Österreich – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **29**, 191–198, Wien 1983.
- HANDFORD, C. R.: A process-sedimentary framework for characterizing recent and ancient sabkhas. – *Sedim. Geol.*, **30**, 255–265, Amsterdam 1981.
- HIMMELBAUER, A.: Der petrographische Aufbau der österreichischen alpinen Salzlagerstätten, verglichen mit dem Staßfurter Permsalze. – *Sitzber. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., Abt. 1*, **140**, 347–357, Wien 1931.
- HOLLIDAY, D. W.: The petrology of secondary gypsum rocks: a review. – *J. Sedim. Petrol.*, **40/2**, 734–744, Tulsa 1970.
- HOLSER, W. T.: Catastrophic chemical events in the history of the ocean. – *Nature*, **267**, 403–408, London 1977.
- HOLSER, W. T.: Gradual and abrupt shifts in ocean chemistry during Phanerozoic time. – In: HOLLAND, H. D. & TRENDALL, A. T. (eds.): *Patterns of change in earth evolution*. – Dahlem Konferenzen 1984, 123–143, Berlin (Springer) 1984.
- JIN-SHI, C. & XUE-LEI, C.: Sulfur isotope composition of Triassic marine sulfates of south China. – *Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sect.)*, **72**, 155–161, Amsterdam 1988.
- JOHANNES, W.: Siderit-Magnetit-Mischkristallbildung im System  $Mg^{2+} - Fe^{2+} - CO_3^{2-} - Cl_2^{2-} - H_2O$ . – *Contr. Miner. Petrol.*, **21**, 311–318, Heidelberg 1969.
- JOHANNES, W.: Zur Entstehung von Magnetitvorkommen. – *N. Jb. Min. Abh.*, **113/3**, 274–325, Stuttgart 1970.
- JUNG, W.: Zur Feinstratigraphie der Werraanhydrite (Zechstein 1) im Bereich der Sangerhäuser und Mansfelder Mulde. – *Geologie*, **7**, Beih. **24**, 1–88, Berlin 1958.
- KENDALL, A. C.: Evaporites. – In: WALKER, R. G. (ed.): *Facies Models – Geoscience Canada*, Reprint Ser. 1, 259–298, Ottawa 1984.
- KINSMAN, D. J. J.: Modes of formation, sedimentary associations and diagnostic features of shallow water and supratidal evaporites. – *AAPG Bull.*, **53/4**, 830–840, Tulsa 1969.
- KIRCHHEIMER, F.: *Blaues Steinsalz und sein Vorkommen im Neckar und Oberrheingebiet*. – *Geol. Jb.*, D **18**, 1–139, Hannover 1976.
- KLAUS, W.: Mikrosporen-Stratigraphie der ostalpinen Salzberge. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1953/3**, 161–175, Wien 1953.
- KLAUS, W.: Zur Einstufung alpiner Salztone mittels Sporen. – *Verh. Geol. B.-A., Sh. G*, 288–292, Wien 1965.
- KLAUS, W.: Neue Beiträge zur Datierung von Evaporiten des Ober-Perm. – *Carinthia II*, **164/84**, Jg., 79–85, Klagenfurt 1974.
- KRALIK, K., KRUMM, H. & SCHRAMM, J. M.: Low grade and very low grade metamorphism in the Northern Calcareous Alps and in the Greywacke Zone: Illite-Crystallinity data and isotopic ages. – In: FLÜGEL, W. & FAUPL, P. (ed.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 164–178, Wien (Deuticke) 1987.
- KRAUTER, E.: Zur Frage der Reliefüberschiebung am Stanser Joch (Östliches Karwendel, Tirol). – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, **60** (1967), 23–64, Wien 1968.
- KRUMM, H.: Anchimetamorphose im Anis und Ladin (Trias) der Nördlichen Kalkalpen zwischen Arlberg und Kaisergebirge – ihre Verbreitung und deren baugeschichtliche Bedeutung. – *Geol. Rdsch.*, **73/1**, 223–257, Stuttgart 1984.
- LANGBEIN, R.: Petrographische Strukturen von Anhydrit-Faziestypen. – *Geologie*, **13**, 46–59, Berlin 1964.
- LANGBEIN, R.: Über petrographische Strukturen accessorischer Anhydrite, sowie Geochemie und Mechanismen seiner Bildung. – *Chemie der Erde*, **32**, 45–79, Berlin 1973.
- LANGBEIN, R.: Petrologische Aspekte der Anhydritbildung. – *Z. geol. Wiss.*, **7/7**, 913–926, Berlin 1979.
- LEITMEIER, H. & SIEGL, W.: Untersuchungen an Magnesiten am Nordrande der Grauwackenzone Salzburgs und ihre Bedeutung für die Entstehung der Spatmagnetite der Ostalpen. – *BHM*, **99/11**, 201–208; **99/12**, 221–235, Wien 1954.
- LOGAN, B. W., REZAK, R. & GINSBURG, R. N.: Classification and environmental significance of algal stromatolithes. – *J. Geol.*, **72/1**, 68–83, Chicago 1964.
- LUMSDEN, D. N. & CHIMANUSKY, J. S.: Relationship between dolomite nonstoichiometry and carbonate facies parameters. – In: ZENGER, D. H., DUNHAM, J. B. & ETHINGTON, R. L. (eds.): *Concepts and models of dolomitization*. – *SEPM Spec. Publ.*, **38**, 123–137, Tulsa 1980.
- MAIKLEM, W. E., BEBOUT, D. G. & GLAISTER, R. P.: Classification of anhydrite – a practical approach. – *Bull. Can. Petrol. Geol.*, **17/2**, 195–233, Calgary 1969.
- MAMET, B., CLAEYS, P., HERBOSCH, A., PREAT, A. & WOLFOWICZ, P.: La "Grande Brèche" Viséenne (V 3a) des bassins de Namur et de Dinat (Belgique) est probablement une brèche d'effondrement. – *Bull. Soc. belge Geol.*, **95**, 151–166, Bruxelles 1986.
- MCCAFFREY, M. A., LAZAR, B. & HOLLAND, H. D.: The evaporation path of seawater and the coprecipitation of Br<sup>-</sup> and K<sup>+</sup> with halite. – *J. Sedim. Petrol.*, **57/5**, 928–937, Tulsa 1987.
- MEIER, R.: Turbidite und Olisthostrome – Sedimentationsphänomene des Werra-Sulfates (Zechstein 1) am Osthang der Eichsfeld Schwelle im Gebiet des Südhazses. – *Veröff. Zentralinst. Physik Erde*, **50**, 1–45, Potsdam 1977.
- MEIXNER, H.: Mineralogisches zu Friedrichs Lagerstättenkarte der Ostalpen. – *Radex Rdsch.*, **7/8**, 434–444, Radenthein 1953.
- MILLER, H.: Die Mitteltrias der Mieminger Berge mit Vergleich zu westlichen Wettersteingeirge. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1965**, 187–212, Wien 1965.
- MÖLLER, H.: Petrographie und Fazies des Plattendolomits (Leine Karbonat, Ca 3) im hessischen Zechstein-Becken. – *Bochumer geol. geotech. Arb.*, **20**, 255 S., Bochum 1985.

- MONTY, C.: Considerations on cyanophyceae in hypersaline settings – Bull. Centres Rech. Expl.-Prod., Elf-Aquitaine, **4/1**, 371, Pau 1980.
- MONTY, C. L. V., ROUCHY, J. M., MAURIN, A., BERNET-ROLLANDE, M. C. & PERTHUISOT, J. P.: Reef-stromatolites-evaporites facies relationships from middle Miocene examples of the Gulf of Suez and the Red Sea. – In: PERYT, T. M. (ed.): Evaporite basins. – Lecture Notes in Earth Sciences, **13**, 133–188, Berlin (Springer) 1987.
- MOSTLER, H. & ROSSNER, R.: Stratigraphisch-fazielle und tektonische Betrachtungen in skythisch-anischen Grenzschichten der Annaberger Senke (Salzburg, Österreich). – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **6/2**, 1–44, Innsbruck 1977.
- MOSTLER, H. & ROSSNER, R.: Mikrofazies und Palökologie der höheren Werfener Schichten (Untertrias) der Nördlichen Kalkalpen. – Facies, **10**, 87–144, Erlangen 1984.
- M'RABET, A.: Differentiation of environments of dolomite formation, Lower Cretaceous of Central Tunisia. – Sedimentology, **28**, 331–352, Oxford 1981.
- NIEDERMAYR, G.: Mineralisationen aus dem Perm und Skyth des westlichen Drauzuges, Kärnten und Osttirol. – Karinthin, **88**, 21–30, Klagenfurt 1983.
- NIEDERMAYR, G., SCHERIAU-NIEDERMAYR, E., BERAN, A. & SEEMANN, R.: Magnesit im Perm und Skyth der Ostalpen und seine petrogenetische Bedeutung. – Verh. Geol. B.-A., **1981/2**, 109–131, Wien 1981.
- PAK, E.: Schwefelisotopenuntersuchungen am Institut für Radiumforschung und Kernphysik I. – Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., **111**, 166–174, Wien 1974.
- PAK, E.: Schwefelisotopenuntersuchungen am Institut für Radiumforschung und Kernphysik III. – Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., **118**, 187–199, Wien 1982.
- PAK, E. & SCHAUBERGER, O.: Die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels Schwefelisotopenuntersuchungen. – Verh. Geol. B.-A., **1981/2**, 185–192, Wien 1981.
- PAK, E. & FELBER, H.: Massenspektrometrische Präzisionsmessung der Schwefelisotopenverhältnisse. – Sitzber. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., Abt. 2, **183**, 295–308, Wien 1975.
- PERTHUISOT, J. P.: Sebkhah El Melah near Zarzis, a recent paralic salt basin (Tunisia). – In: BOUROULLEC, J. et al. (eds.): Evaporite deposits. Illustration and interpretation of some environmental sequences, 11–17, Paris (Editions Technip) 1980.
- PETRASCHECK, W.: Die Magnesite und Siderite der Alpen. Vergleichende Lagerstättenstudien. – Sitzber. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., Abt. 1, **141**, 195–242, Wien 1932.
- PRZIBRAM, K.: Yellow rock salt from Hall in Tirol. – Nature, **137**, 107–108, London 1936.
- PRZIBRAM, K. & SCHAUBERGER, O.: Über das gelbe Steinsalz von Hall in Tirol. – Anz. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., **27**, 273–275, Wien 1935.
- PUEYO MUR, J. J. & INGLES URPINELL, M.: Magnesite formation in recent playa lakes, Los Monegros, Spain. – In: MARSHALL, J. D. (ed.): Diagenesis of sedimentary sequences. – Geol. Soc. Spec. Publ., **36**, 119–122, Oxford (Blackwell) 1987.
- SCHAUBERGER, O.: Über das Vorkommen eines lichtempfindlichen gelben Steinsalzes im Haller Salzberg. – Berg- u. Hüttenm. Jb., **83**, 115–117, Leoben 1935.
- SCHAUBERGER, O.: Die stratigraphische Aufgliederung des alpinen Salzgebirges. – BHM, **94/3**, 46–65, Wien 1949.
- SCHAUBERGER, O.: Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars. – Archiv Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **7**, 217–254, Wien 1986.
- SCHENK, V.: Die Faziesentwicklung der Reichenhaller Schichten und die Tektonik im Süden des Achensees, Tirol. – Geol. Rdsch., **56**, 464–473, Stuttgart 1967.
- SCHLAGER, W. & BOLZ, H.: Clastic accumulation of sulphate evaporites in deep water. – J. Sedim. Petrol., **47/2**, 600–609, Tulsa 1977.
- SCHLAGER, W. & SCHÖLLNBERGER, W.: Das Prinzip stratigraphischer Wenden in der Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen. – Mitt. österr. geol. Ges., **66/67** (1973/74), 165–193, Wien 1975.
- SCHMIDT, A.R.: Über die Beschaffenheit und den bisherigen Aufschluß der Salzlagertätte zu Hall in Tirol. – Z. Berg- u. Hüttenm. Ver. Klagenfurt, **7/8**, 103–112, 141–144, 175–178, 209–216, 240–245, Klagenfurt 1874.
- SCHREIBER, B. Ch.: Environments of subaqueous gypsum deposition. – In: DEAN, W. E. & SCHREIBER, B. Ch. (eds.): Marine evaporites, SEPM Short Course, **4**, 43–73, Tulsa 1978.
- SCHREIBER, B. Ch., FRIEDMAN, G. M., DECIMA, A. & SCHREIBER, E.: Depositional environment of Upper Miocene (Messinian) evaporite deposits of the Sicilian basin. – Sedimentology, **23**, 729–760, Oxford 1976.
- SCHREIBER, B. Ch., ROTH, M. S. & HELMAN, M. L.: Recognition of primary facies characteristics of evaporites and the differentiation of these forms from diagenetic overprints. – In: HANDFORD, C. R., LOUCKS, R. C. & DAVIES, G. R. (eds.): Depositional and diagenetic spectra of evaporites, SEPM Core Workshop, **3**, 1–32, Calgary 1982.
- SCHROLL, E., PAPESCH, W. & DOLEZEL, P.: Beitrag der C- und O-Isotopenanalyse zur Genese ostalpiner Sideritvorkommen. – Mitt. österr. geol. Ges., **78** (1985), 181–191, Wien 1986.
- SHEARMAN, D. J.: Syndepositional and late diagenetic alteration of primary gypsum to anhydrite. – In: SCHREIBER, B. Ch. & HARNER, H. L. (eds.): Sixth Symposium on Salt 1983, **1**, 41–50, Alexandria (Salt Inst.) 1985.
- SPÖTL, Ch.: Sedimentologisch-fazielle und geochemische Untersuchungen am permoskythischen Salinar der Nördlichen Kalkalpen. – Unveröff. Geol. Dipl.-Arb. Univ. Innsbruck, 130 S., Innsbruck 1987.
- SPÖTL, Ch.: Schwefelisotopdatierungen und fazielle Entwicklung permoskythischer Anhydrite in den Salzbergbauen Dürrnberg/Hallein und Hallstatt (Österreich). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **34**, 109–139, Wien 1988.
- STANTON, R. J.: The solution-brecciation process. – Geol. Soc. Amer. Bull., **77**, 843–848, Washington 1966.
- STREHL, E., NIEDERMAYR, G., SCHERIAU-NIEDERMAYR, E. & PAK, E.: Die Gipsvorkommen an der Südseite des Dobratsch (Villacher Alpe), Kärnten. – Carinthia II, **170/90**. Jg., 77–89, Klagenfurt 1980.
- VAN BERKEL, J. T.: A structural study of evaporite diapirs, folds and faults, Axel Herberg Island, Canadian Arctic Islands. – GUA Papers of Geology, **1/26**, 149 S., Utrecht 1986.
- WARRAK, M.: The petrology and origin of dedolomitized, veined or brecciated carbonate rocks, the „cornieules“, in the Frejus region, French Alps. – J. geol. Soc. London, **130**, 229–247, London 1974.
- WILSON, J. L.: Carbonate facies in geologic history. – 471 S., Berlin (Springer) 1975.
- WUENSCH, B. J., NIELSEN, H., SCHNEIDER, A., USDOWSKI, H. E., HEM, J. D., & ORR, W.: Sulfur. – In: WEDEPOHL, K. H. (ed.): Handbook of geochemistry, **II-2**, Berlin (Springer) 1978.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 21. Juli 1987.