

|                          |            |                                      |                     |
|--------------------------|------------|--------------------------------------|---------------------|
| Mitt. österr. geol. Ges. | 80<br>1987 | S. 115–142<br>9 Abb., 4 Tab., 2 Taf. | Wien, Dezember 1987 |
|--------------------------|------------|--------------------------------------|---------------------|

# Eine klastisch-evaporitische Oberperm-Entwicklung im Hallstätter Salzberg (Salzkammergut, Österreich)

Von Christoph SPÖTL\*)

Mit 9 Abbildungen, 4 Tabellen und 2 Tafeln

## Zusammenfassung

Aus dem Alpinen Haselgebirge des Hallstätter Salzberges (OÖ) wird eine feinklastisch-evaporitische red bed-Abfolge beschrieben, die erstmalig einen tektonisch ungestörten Einblick in die bisher unbekannte Randfazies des salinaren oberpermischen Grabenbruchsystems ermöglicht.

Das 108 m mächtige Profil wurde detailliert sedimentologisch-geochemisch bearbeitet (Dünnschliffe, SM-Präparate, XRD, AAS, REM, EMPA). Die Einstufung erfolgte auf Grund von S-Isotopenwerten und Fossilien (Palynomorpha, Bivalvia).

Die flachmarine Entwicklung leitet nach mehreren evaporitischen Einschaltungen in eine Sabkha-Fazies mit massigen Anhydriten über. Aufgearbeitete Caliche- und Carneolklaster, sowie Pflanzenreste weisen auf nahe gelegene Auftauchbereiche hin. Arkose-Sandsteine mit flat pebble-Lagen wurden in flachen Rinnen in das siliziklastische environment geschüttet.

Es wird aufgezeigt, daß es sich hierbei wahrscheinlich um das bisher fehlende fazielle Glied zwischen der rein terrestrisch-klastischen alluvial fan-Entwicklung (Prebichl-Schichten, „Verrucano“) und der eigentlichen Beckenfazies des steinsalzführenden Alpinen Haselgebirges im Zentrum des aborted rifting-Armes der Nördlichen Kalkalpen handelt.

## Summary

Upper Permian facies of the Northern Calcareous Alps are mainly represented by siliciclastic-evaporitic rocks, called Alpine Haselgebirge, which are mined for rock salt by solution-mining.

Very little is known about the sedimentary environment and processes of these saline deposits, because of their penetrative tectonic overprint (one of the main basal thrust planes of the eastalpine nappes). Recent investigations in the salt mine of Hallstatt (Upper Austria) have revealed a well preserved red bed-sequence inside, bordered by faults. The section described is composed of a silty/argillaceous background sedimentation containing frequent carbonate concretions, intersected by graded sandstone intercalations with chips and plant remains. The occurrence of scattered anhydrite nodules in the upper part of the section gives clear evidence of

\*) Adresse des Verfassers: Christoph SPÖTL, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Innsbruck, A-6020 Innsbruck, Innrain 52.

prevailing evaporitic conditions, reaching their climax in the deposition of several meters of massive anhydrite on top of the siliciclastic sequence.

S-isotope data and fossils (palynomorphs, scarce bivalves) indicate Upper Permian age and marine origin of the sulfates. The assumption of a shallow subtidal environment with gradually increasing salinity is therefore most likely. Subaerely exposed flats nearby are documented by resedimented flat pebbles and clasts of caliche and rare silcrete.

Comparable sections have never been reported from Upper Permian sediments. The resumption is made, that the above mentioned facies development might be a tectonically undestroyed relic of a connecting link between the alluvial fan-facies (Prebichl fm.) and the actual halite-bearing Haselgebirge in the center of an approx. E-W-trending aborted rifting arm of the Tethys.

## Inhalt

|   |     |
|---|-----|
| 1. Einleitung . . . . .   | 116 |
| 2. Geologische Position der „Nördlichen Einlagerung“ . . . . .        | 117 |
| 3. Das Profil der Nördlichen Plener Kehr . . . . .                    | 118 |
| 4. Charakterisierung der Lithofaziestypen . . . . .                   | 122 |
| 5. Fossilien . . . . .  | 133 |
| 6. Stratigraphische Einstufung der „Nördlichen Einlagerung“ . . . . . | 133 |
| 7. Versuch einer faziellen Interpretation . . . . .                   | 134 |
| 8. Literaturverzeichnis . . . . .                                     | 135 |

## 1. Einleitung

Nach heutigen Vorstellungen (TOLLMANN 1984, LEIN 1985) drang im höheren Perm ein Tethys-Ausläufer von SE her in ein Grabenbruchsystem ein, in dem es zur Ablagerung feinklastischer und evaporitischer Sedimente kam (Alpines Haselgebirge, Mitterberger Schichten). Auch das Auftreten basischer bis ultrabasischer Vulkanite mit theoleiitischer Affinität in reliktschen Ophiolitsequenzen (KIRCHNER 1979, 1980) fügt sich gut in das Modell eines aborted-rifting (Aulakogens) im ungefähren Streichen der Nördlichen Kalkalpen. Die kontinentale Oberperm-Fazies wird von alluvial fan-, flood plain- und Playa-Sedimenten (Prebichl-Schichten, „Verrucano“) eingenommen (STINGL 1982, 1983; HESS & ROSSNER 1984; POSCHER 1985; KRAINER & STINGL 1986).

Die Salinar-Entwicklung des Alpines Haselgebirges kann in einzelnen Aufschlüssen von Hall in Tirol bis gegen Mödling bei Wien verfolgt werden und läßt auf Grund der penetrativen alpidischen Deformation eine Rekonstruktion der ursprünglichen Schichtfolge in nur sehr begrenztem Ausmaß zu. Bisherige Bemühungen kamen nicht über eine zwar abbautechnisch interessante, geologisch aber kaum umsetzbare, stark subjektive Gliederung hinaus (SCHAUBERGER 1949, 1986). Mit Gewißheit konnte bis dato lediglich ein lokal vorhandener Oberskyth-Anteil (Reichenhaller Fm. partim) vom mengenmäßig überwiegenden Oberperm-Anteil mit Hilfe von Palynomorphen (KLAUS 1965) und S-Isotopenanalysen (PAK & SCHAUBERGER 1981; GÖTZINGER & PAK 1983) abgetrennt werden.

Die vorliegende Arbeit behandelt die im Salzbergwerk von Hallstatt/Oberösterreich untertage aufgeschlossene Abfolge der sogenannten „Nördlichen Einlage-

„. Diese, früher fälschlicherweise als Werfener Schichten angesprochen (SPENGLER 1919; KOBER 1929; MEDWENITSCH 1955), stellt eine bislang in den Nordkalkalpen unbekannte klastisch-evaporitische Oberperm-Fazies dar (Über die faziell wie zeitlich am ehesten vergleichbaren Mitterberger Schichten liegen leider kaum Daten vor – vgl. MOSTLER 1972).

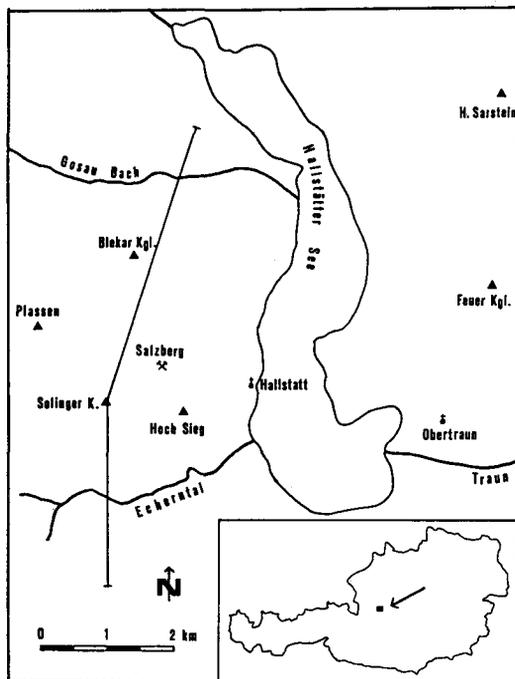


Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes und Profilschnitt in Abb. 2.

## 2. Geologische Position der Nördlichen Einlagerung

Die „Nördliche Einlagerung“ liegt heute als völlig tektonisch isolierte Scholle inmitten des Salinars des Hallstätter Salzberges (Abb. 2). Der durch den Bergbau bekannte N-S- und E-W-Durchmesser beträgt maximal 110 m bei einer Vertikalerstreckung von mindestens 200 m. Die weitere Fortsetzung nach der Tiefe ist genauso wie die Frage nach dem Tiefgang des gesamten Salzlagers auf Grund fehlender Bohrdaten ungeklärt.

Während die Einlagerung in den höheren Teilen lediglich an den Rändern stärkere Tektonisierung (Mylonite) aufweist, wird mit zunehmender Teufe auch der Hauptkörper intensiv zerschert und konnte für genauere Untersuchungen nicht berücksichtigt werden.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß seinerzeit beim Vortrieb des Franz Josef-Stollens zwischen Meter 210 und 302 eine stark verschuppte Schichtfolge angetroffen wurde (HORINEK 1870, 1871), die der der „Nördlichen Einlagerung“

vollkommen ident, leider heute aber nicht mehr zugänglich ist. Wie Fundstücke im Rutschungsgebiet oberhalb der Falkenhaynsperre gezeigt haben, dürfte diese Scholle bis Obertag reichen (vgl. „Werfener Schichten“ bei SPENGLER 1919: 440).

In zwei senkrecht zum Streichen (generell 20–30/70–75 NE) verlaufenden Querschnitten (Nördliche Plener Kehr im Theresia Horizont und Fleissner Kehr im Elisabeth Horizont) konnten Detailprofile aufgenommen werden und Proben entnommen werden. Letztere wurden an Hand von Dünnschliffen, Schwermineralpräparaten und mineralogisch-geochemischen Analysen untersucht (XRD, AAS, REM, EMPA).

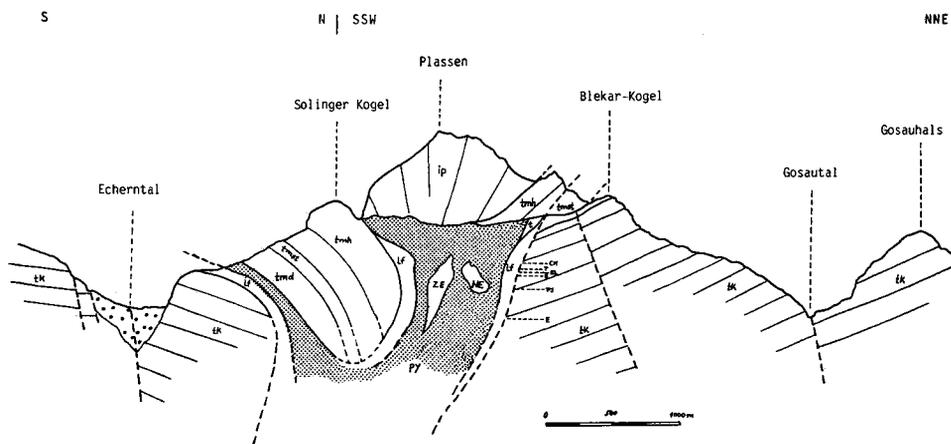


Abb. 2: Profil durch den Hallstätter Salzberg, vereinfacht n. SCHAUBERGER 1955: Abb. 2. Signaturen n. TOLLMANN 1976. Das Salinar wurde nicht untergliedert. Lage des Profilschnittes in Abb. 1.

Abkürzungen: CH . . . Christina Horizont, T . . . Maria Theresia H., El . . . Elisabeth H., B . . . Backhaus H., FJ . . . Franz Josef H., E . . . Erbstollen, ZE . . . Zentrale Einlagerung, NE . . . Nördliche Einlagerung.

### 3. Das Profil der Nördlichen Plener Kehr (Abb. 3)

Die in der Nördlichen Plener Kehr/Theresia Horizont lückenlos aufgeschlossene Schichtfolge der „Nördlichen Einlagerung“ weist eine Mächtigkeit von 108 m auf und setzt sich zum Großteil aus rotbraunen, seltener grauen Silt- und Tonsteinen zusammen. Diese zeigen häufig cm-große graue Reduktionsflecken, in deren Zentren sich oft kleine Karbonatkonkretionen gebildet haben (LFT 1). In die feinklastische Hintergrundsedimentation sind wiederholt Sandstein-Schüttungen (LFT 5), sowie auffallende, oft diffus begrenzte Lagen resedimentierter Karbonatkonkretionen eingeschaltet (LFT 2). Daneben treten kennzeichnende dunkelgraue bis grauschwarze Siltlagen auf, die Azurit/Malachitanflüge und bisweilen reichlich Pflanzenreste führen (LFT 3). Ab der Profilmitte tauchen horizontweise eingestreute Anhydritknollen von unter 1 cm Durchmesser auf, die in höheren Profilabschnitten bis 1 dm erreichen können (LFT 4). Im Hangenden wird diese Rotsedimentabfolge unvermittelt von massigem bis undeutlich geschichtetem Anhydrit überlagert

Abb. 3:

**LEGENDE ZU DEN PROFILEN**

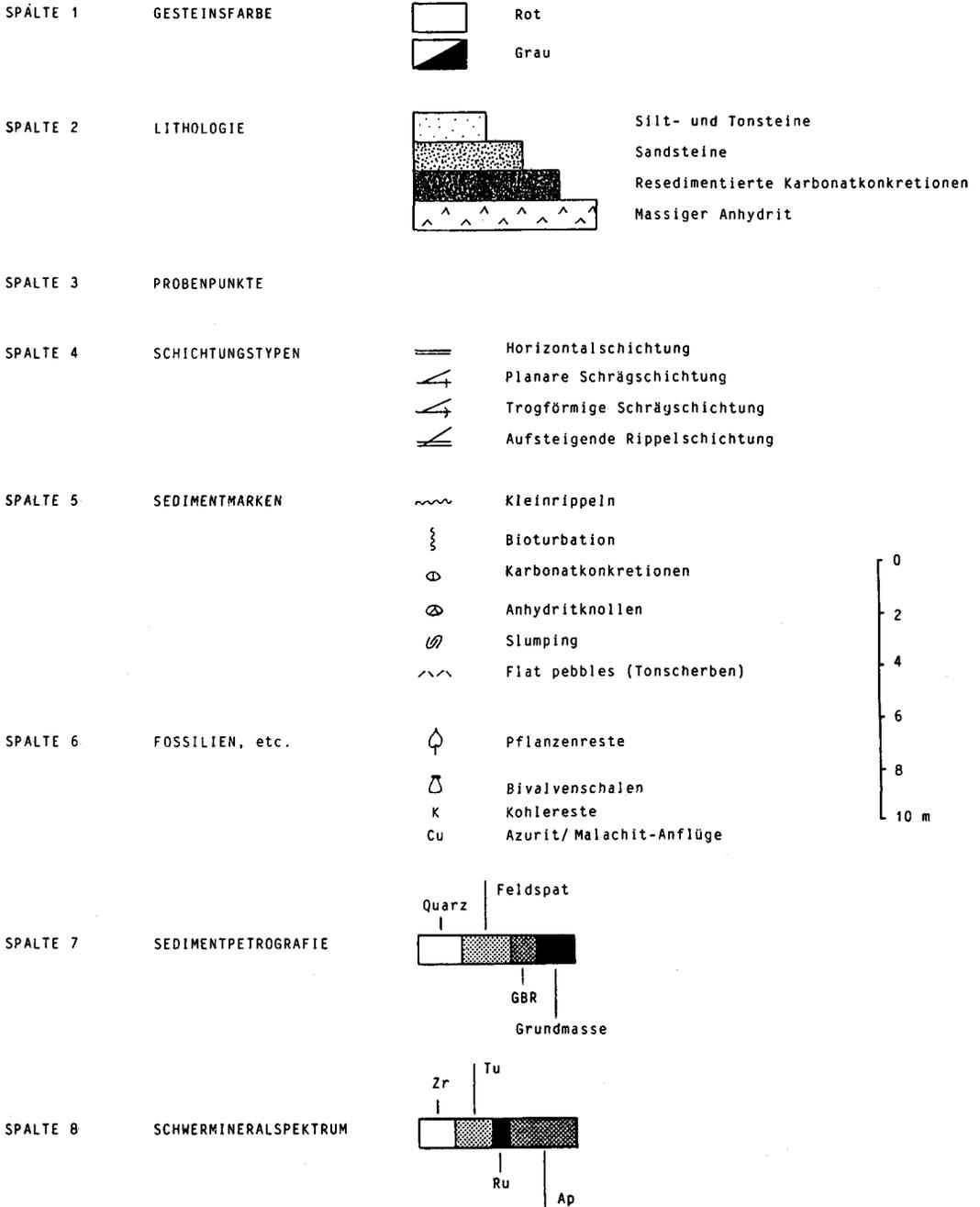


Abb. 3

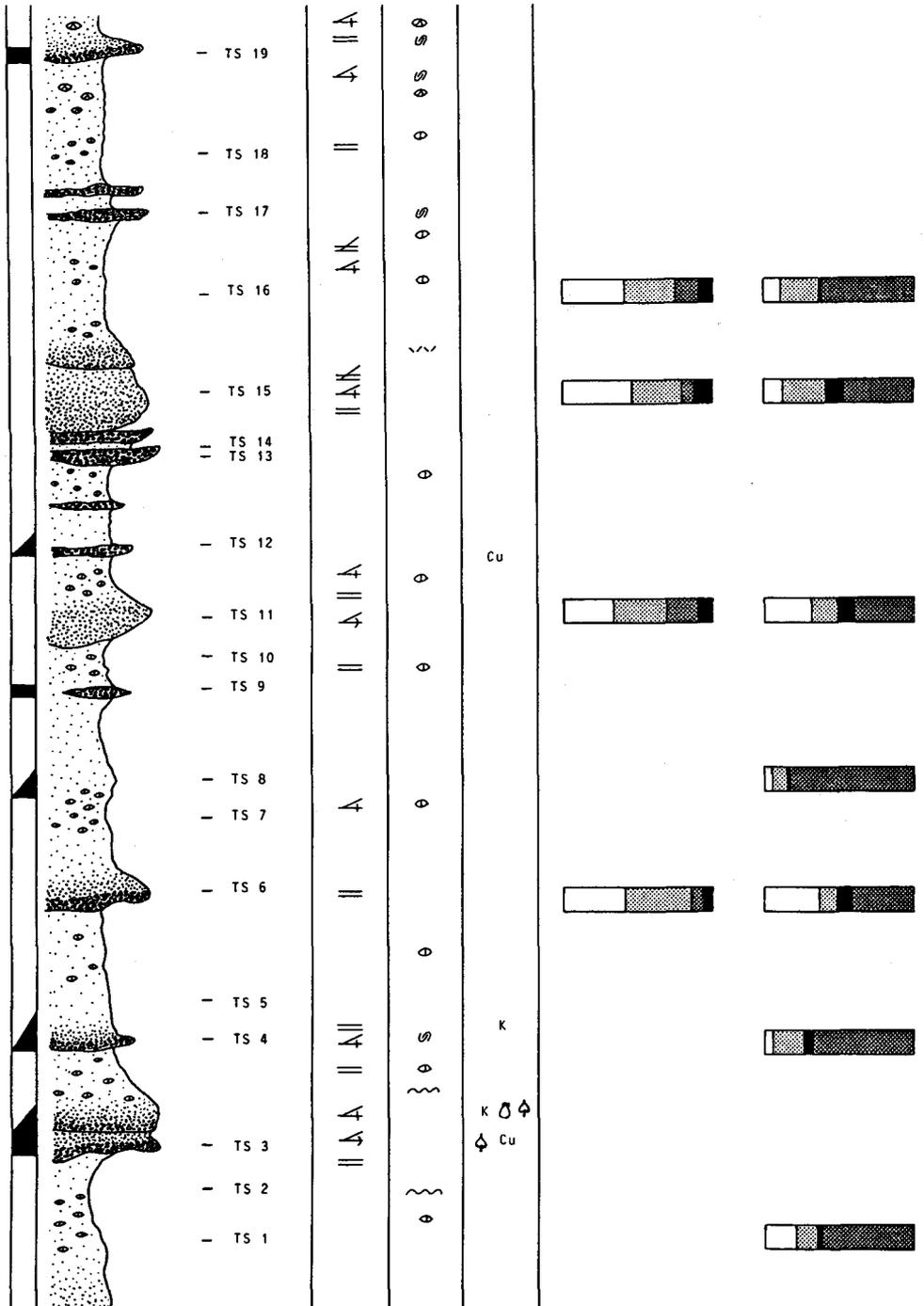
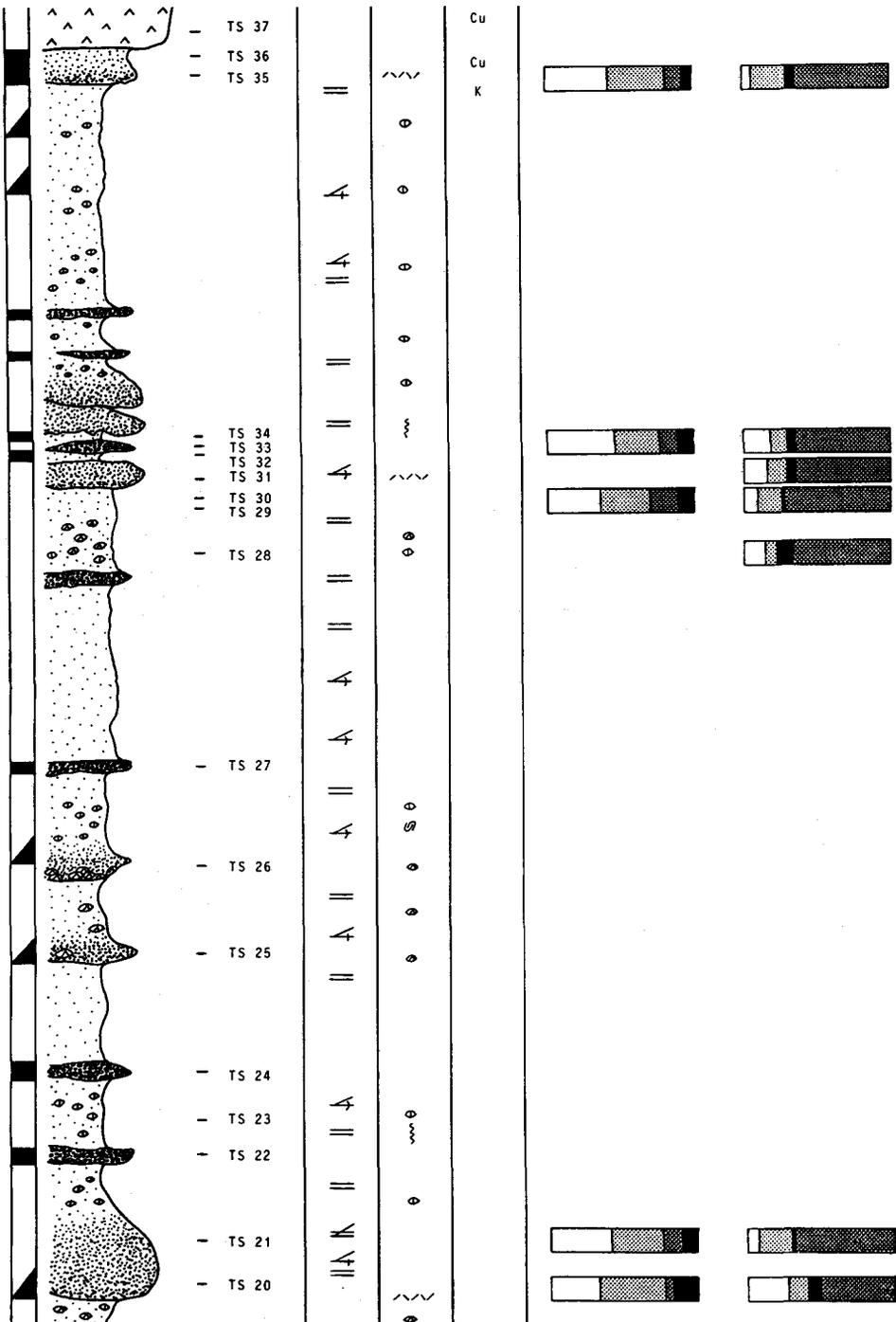


Abb. 3 Fortsetzung



(ca. 7 m). Er geht innerhalb eines Bereiches von wenigen Metern (Randstörung der Einlagerung) scheinbar fließend unter Auflösung seines Gefügeverbandes in typisches Haselgebirge über.

#### 4. Charakterisierung der Lithofaziestypen (LFT)

##### LFT 1: Rote Siltsteine mit in situ Karbonatkonkretionen

Dieser Lithofaziestyp ist charakterisiert durch dunkelrote bis braune, tonreiche Siltsteine, die dispers verteilt irregulär begrenzte, bis dm-große graue Reduktionsflecken aufweisen. Diese umhüllen häufig kleine (bis wenige cm große) Karbonatkonkretionen (Taf. 1, Fig. 1).

Im Schliff erkennt man eine stark tonige, durch reichlich Hämatitpigment gefärbte Matrix, die einen beträchtlichen Gehalt an organischem Material aufweist. Darin eingebettet sind angulare Quarz- und Feldspatkörner der Mittel bis Grobsiltfraktion, sowie reichlich Phyllosilikate. Es dominieren Hellglimmer neben Chloriten (Länge der Scheiter unter 0,2 mm), die häufig geknickt und zerbrochen sind. Horizontalschichtung herrscht vor. Schrägschichtung tritt trogförmig und planar auf, wobei die einzelnen Schrägschichtungsblätter jeweils nur wenige mm mächtig sind. Vereinzelt wurde Bioturbation beobachtet.

Mehrere Typen bzw. Stadien der Genese von Karbonatkonkretionen konnten herausgearbeitet werden:

##### Typ 1 (Keimbildung)

Parallel zum ss bilden sich Bereiche starker Karbonatzementation (größer gleich 0,15 mm). Eine Bevorzugung bzw. Bindung an Lagen mit besonders auffallender Anreicherung opaker organischer Substanz konnte nicht festgestellt werden. Diese hellbraun gefärbten Keime weisen eine anfangs runde, später ovale Form auf, die sichtlich von der Kompaktion des Umgebungssediments wenig beeinflusst worden ist (stromlinienartiges Umhüllen der Konkretion durch die Laminae des Muttersediments – vgl. RAISWELL 1971: 153). Die im Wachstum begriffenen Konkretionen (in diesem Stadium mit Durchmesser bis über 1 cm) weisen deutlich zwei Zonen auf: Eine schmale, hellgraue, schwach karbonatzementierte Außenzone, die sich scharf (Front des reduzierenden Mikromilieus) gegen die Matrix abhebt. Nach innen schließt sich ein stärker zementierter, mikritischer Zentralbereich an, dessen Begrenzung etwas verschwommen sein kann.

##### Typ 2 (Beginnende Drusenbildung)

Bereits bei einer Größe von 1 mm kann sich innerhalb des obgenannten Zentralbereiches eine drusig-spätige Sammelkristallisation aus Calcit bilden.

##### Typ 3 (Beginnende Septarienbildung)

Ab einem bestimmten Durchmesser der Konkretion (um 1 cm) treten innerhalb des Zentralbereiches die charakteristischen Schrumpfungsrisse (Zerrisse) auf, die stets subparallel zum kleineren Radius des gedachten Ellipsoids verlaufen (vgl. ASTIN 1986). Gesetzmäßig ist ferner die größte Öffnungsweite der Risse im Mittelabschnitt

und ein Konvergieren der Rißwände gegen die Ränder der Konkretion hin. Die Verheilung dieser Risse erfolgt einerseits durch einen wandständigen Zement, andererseits durch einen hohlraumfüllenden Blockzement (beides Calcit).

#### Typ 4 (Fortgeschrittene Septarienbildung)

In dieser Wachstumsphase beginnt sich der Zentralbereich deutlich gegen die Außenzone abzugrenzen. An der Berührungsfläche ist häufig ein Saum hellrötlichen Hämatitpigments angereichert. Die Breite und Häufigkeit der Schrumpfrisse nimmt zu. Stellenweise tritt als jüngste Hohlraumfüllung Anhydrit- und Barytzement hinzu. Die Breite der Konkretionsaußenzone nimmt ebenfalls zu, sodaß die einzelnen Konkretionen häufig koaleszieren.

Diffraktometrisch konnte im Konkretionsmaterial neben den Matrixmineralen stets nur Calcit und Dolomit (selten Anhydrit und Baryt) nachgewiesen werden. An 5 isolierten Exemplaren wurden in HCl-Aufschlüssen einige Haupt-, Neben- und Spurenelemente mittels AAS bestimmt (Tab. 1). Die Variationskoeffizienten betragen: Ca  $\pm$  3,2%, Mg  $\pm$  2,3%, Fe  $\pm$  6,5%, Mn  $\pm$  5,6%, Sr  $\pm$  10,7%, Zn  $\pm$  18,5%, Cu  $\pm$  8,7%, Pb  $\pm$  16,4%.

Tab. 1: Chemische Analysen von Karbonatkonkretionen. Die Konzentrationsangaben für Ca, Mg und Fe gelten in Gew-%, alle übrigen in ppm.

| Probe | Ca  | Mg  | Fe  | Mn   | Sr  | Zn  | Cu  | Pb  |
|-------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| K 1   | 7,2 | 3,5 | 3,0 | 4112 | 198 | 61  | 10  | 13  |
| K 2   | 3,5 | 1,7 | 1,4 | 1323 | 20  | 51  | 24  | 35  |
| K 3   | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 421  | 16  | 42  | 9   | 35  |
| K 4   | 3,5 | 2,1 | 1,8 | 1212 | 25  | 47  | 18  | 24  |
| K 5   | 3,0 | 1,5 | 1,5 | 1232 | 23  | 237 | 106 | 123 |

#### LFT 2: Resedimentierte Karbonatkonkretionen

In z. T. gradierten, flach rinnenförmigen, lateral rasch auskeilenden Schüttungen treten maximal 29 cm mächtige Lagen resedimentierter Karbonatkonkretionen auf (Taf. 1, Fig. 2). Außerdem finden sie sich weniger häufig als 1–3 cm dicke Lagen zusammen mit Tonscherben in Sandsteinschüttungen. Die Größe der Konkretionen schwankt zwischen einigen Zehntel mm und maximal 3 cm. Aufgearbeitet finden sich Konkretionen des Typs 1–4, sowie vereinzelt eindeutige Caliche-Klasten (vgl. WRIGHT 1982, GOUDIE 1983) und selten dunkelrote Carneol-Komponenten bis 2,5 m Größe. Letztere beiden konnten im Profil nirgends in situ gefunden werden. Die Bruchstücke der konkretionären Bildungen weisen allesamt eine schlechte Rundung auf, was auf eine lokale Umlagerung bzw. kurze Transportdistanzen vom Liefergebiet schließen läßt.

#### LFT 3: Graue Grobsiltsteine mit Pflanzenresten

Am top der Grobschüttungen (vorherrschend aufgearbeitete Karbonatkonkretionen) tritt besonders im unteren Profilteil ein gut 1 m mächtiges Paket dunkelgrauer bis grauschwarzer Siltsteine auf, die lagenweise reichlich pflanzliche Makrofossilien führen. Das Sediment besteht aus häufig dolomitementierten, matrixreichen

Quarz/Feldspatdetritus mit reichlich Hellglimmern. Lageweise angereichert findet sich inkohlte Substanz von wenigen mm Dicke. Der Erhaltungszustand der Pflanzenfossilien ist schlecht (hauptsächlich Häcksel). Relativ häufig treten parallelnervige und glatte Blattorgane von maximal 10 mm Breite auf. Darauf dürfte sich auch die kurze Notiz von HOFMANN (1952: 74) beziehen, die von Equisetites-Abdrücken im Hallstätter Salzberg berichtete. Einzelne größere Pflanzenreste konnten geborgen werden.

Bezeichnend für dieses dunkelgraue, feinkörnige Sediment ist eine Pyrit-Mineralisation, die streng an die inkohlten Lagen und Putzen gebunden ist und stellenweise zu einer mm-dicken Anreicherung in Wechsellagerung mit dünnen Kohlelagen geführt hat. Malachit/Azuritanflüge rühren von einer spurenhafte Cu-Vererzung her. Eine ältere chemische Analyse (frdl. Mitt. v. HR Schauburger/Bad Ischl) fand in einer Probe dieser grauen Siltsteine ca. 1000 ppm Cu und ca. 14 ppm V.

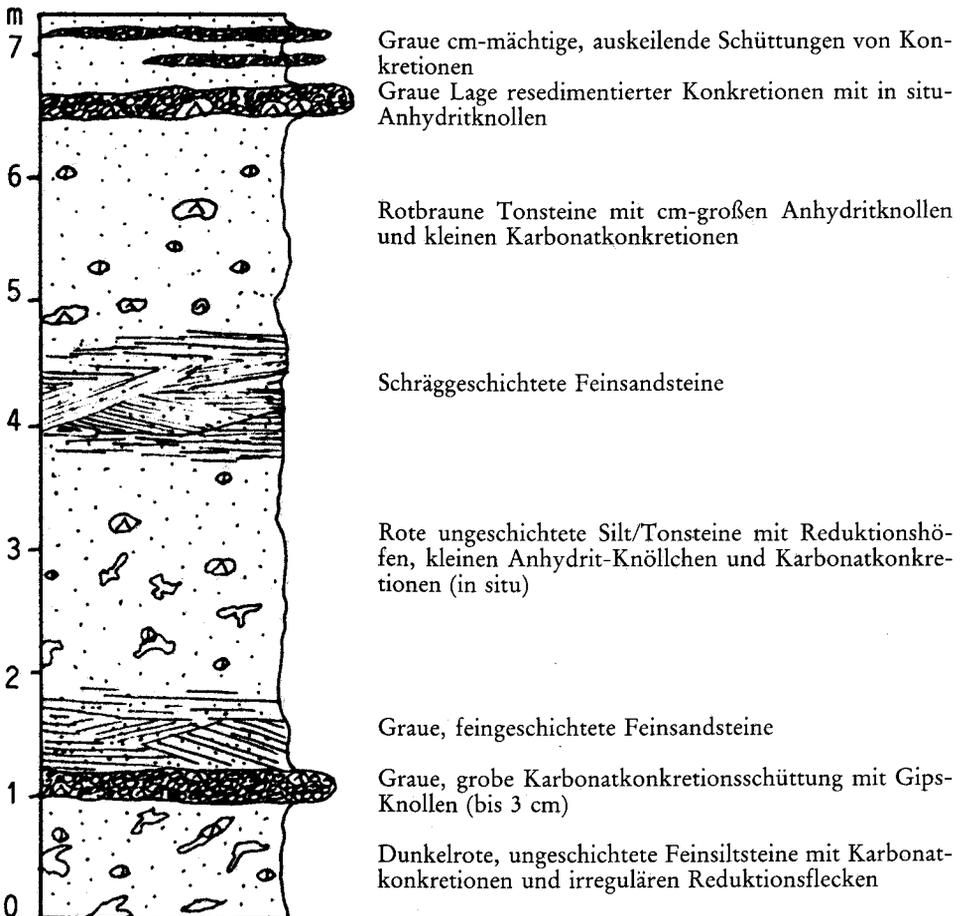


Abb. 4: Detailausschnitt aus dem höheren Profilabschnitt. Darstellung einer typischen Abfolge (LFT 1, 2, 4)

Im höheren Teil des genannten grauen Siltsteinpaketes fanden sich einzelne große ( $10 \times 5 \times 2$  cm), längsovale, ss-parallele Karbonatkonkretionen (Cc/Dol im XRD), von denen eine einen gut erhaltenen Holzrest umschloß. Erhalten blieb lediglich der Xylemteil (äußerer Durchmesser 2,7 cm, Wandstärke 3–6 mm), während die Markhöhle ebenfalls mit mikritischem Karbonatzement erfüllt ist. Darin liegen mehrere dünne, leicht gekrümmte, zweilagig aufgebaute Bivalvenschalen von maximal 6 mm Länge. Das Xylem selbst zeigt sehr deutlich Leitgefäße (Zellumen 20  $\mu$ m). Es drängt sich ein Vergleich mit den ebenfalls häufig aus Kalkkonkretionen des germanischen Kupferschiefers geborgenen Zweigstücken der Gattungen *Pseudovoltzia* FLORIN und *Ullmannia* GÖPPERT auf, die sich bekanntlich im Querschnitt des Holzes völlig gleichen (vgl. SCHWEITZER 1962: 352).

#### LFT 4: Siltsteine und Groblagen mit Anhydritknollen

In mehreren Niveaus des Profils treten einzelne verstreute Anhydritknollen mit Durchmessern von kleiner gleich 1 cm auf (s. Taf. 2, Fig. 1), teilweise bereits in Lagen angereichert. Letztere erreichen bis 10 cm Durchmesser und zeigen bereits Anzeichen einer „chicken-wire“-Struktur. Die Knollen liegen als weiße bis rosa gefärbte, z. T. vergipste Anhydrite vor (XRD). Schliffe durch solche Anhydritknollen (distorted nodular- und distorted bedded nodular anhydrite n. MAIKLEM et al. 1969) zeigen einen Aufbau aus leistenförmigen, vielfach nach (110) verzwilligten Anhydritkristallen („lath-shaped crystals“ der angelsächsischen Literatur). Andere Minerale treten nur akzessorisch auf: Karbonat, idiomorphe Hämatite, Apatit. Die Länge der Anhydritkristalle beträgt gleichförmig 0,4–0,8 mm bei einem L/B-Verhältnis von ca. 4. Kennzeichnend ist ein besonders marginal anzutreffendes radiales Wachstum der Kristalle. In etwa der Hälfte der Fälle wurde beobachtet, daß die Anhydritknollen innerhalb eines grauen Reduktionshofes gewachsen sind.

An isolierten Anhydritknollen wurden in HCl-Aufschlüssen mittels AAS Haupt-, Neben- und Spurenelemente bestimmt (Tab. 2). Die beiden Proben ES 21 und TS 37 weisen ca. 3,5% Dolomit auf und damit zusammenhängend deutlich höhere Mn, Zn und Pb-Gehalte. Alle übrigen Proben fügen sich gut in das geochemische Bild von Anhydritgesteinen (vgl. BOTZ & MÜLLER 1981, SPRINGER 1984).

Tab. 2: Chemische Analysen von Anhydritknollen. Die Spalte XRD gibt den qualitativen Mineralbestand im Diffraktogramm wieder (Cc = Calcit). Die Konzentrationsangaben für Ca in Gew.-%, alle übrigen in ppm.

| Probe | XRD             | Ca   | Mg   | Fe  | Mn  | Sr   | Zn  | Cu | Pb |
|-------|-----------------|------|------|-----|-----|------|-----|----|----|
| ES 17 | Anh/Gips/Cc     | 31,2 | 85   | 124 | 23  | 1168 | 3   | 5  | <8 |
| ES 19 | Anh/Gips        | 31,8 | 18   | 28  | 5   | 1166 | 3   | 5  | <8 |
| ES 21 | Anh/Gips/Cc/Dol | 28,0 | 4900 | 199 | 210 | 1355 | 217 | 10 | 17 |
| TS 25 | Anh/Cc          | 28,5 | 18   | 41  | 28  | 1350 | 14  | 5  | 8  |
| TS 26 | Anh             | 30,0 | 26   | 41  | 26  | 1289 | 3   | 4  | <8 |
| TS 29 | Anh/Gips        | 29,7 | 170  | 212 | 21  | 1109 | 4   | 4  | <8 |
| TS 37 | Anh/Dol/Gips    | 28,0 | 5100 | 186 | 222 | 1350 | 222 | 9  | 21 |

#### LFT 5: Sandsteinschüttungen

Mit meist erosiver Basis greifen wiederholt flach rinnenförmig hellrötliche Feinsandstein-Schüttungen in die siltig-tonige Hintergrundsedimentation ein. An ihrer

Basis treten manchmal aufgearbeitete Karbonatkonkretionen (LFT 2) oder Ton-scherben (chips) auf. Die Mächtigkeit dieser Schüttungen schwankt zwischen einigen dm und maximal 3 m (s. Abb. 5). Während der untere Abschnitt i. a. ungeschichtet ist, finden sich im oberen Teil bei allmählicher Korngrößenabnahme horizontale und schräggeschichtete Gefüge (meist trogförmig), sowie kleine z. T. kletternde Strömungsrippel und slumping-Strukturen.

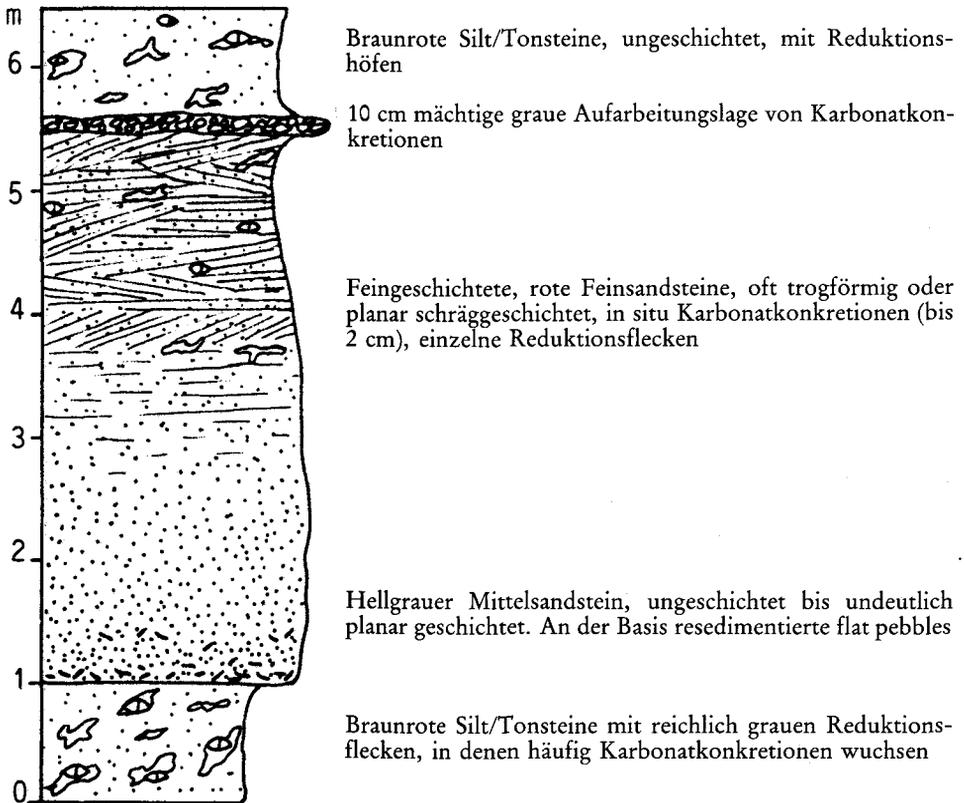


Abb. 5: Idealsequenz einer Sandsteinschüttung (LFT 5)

Wiederholt konnten typische Sequenzen erkannt werden, die mit grainflows einsetzen und in Turbidite übergehen (s. Abb. 4). Letztere bauen sich meist aus den Bouma-Unterteilungen A<sub>2</sub> – B<sub>1</sub> – C<sub>1</sub> – D – E auf (CAS 1979). Die Intervalle D und E leiten zur siltigen Hintergrundsedimentation über.

### Textur

Es handelt sich bei allen untersuchten Proben um gut sortierte Feinsandsteine (selten gröber werdend), deren ursprüngliche Kornrundung auf Grund diagenetischer Quarzanlösung und -neubildung verwischt worden ist. Nach dem Klassifika-

tionsschema von McBRIDE 1963 (etwas modifiziert) sind diese Sedimente als lithische Arkosen bis Arkosen anzusprechen (Abb. 6). Auch im Diagramm nach PACKHAM 1954 plotten alle Proben in das Feld der Arkosen und labilen Sandsteine. Es handelt sich somit um kompositionell unreife bis subreife Feinsandsteine mit einem Matrixgehalt von meist 3–5% (Tab. 3).

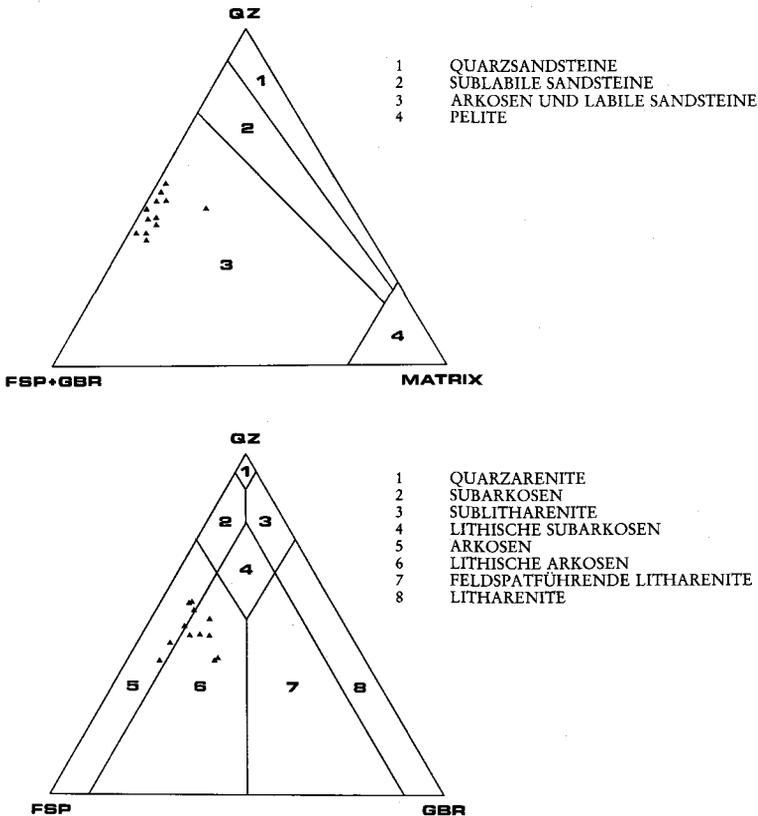


Abb. 6: Dreiecksdiagramm Qz (mono- und polykristalliner Quarz) – FSP + GBR (Feldspäte und Gesteinsbruchstücke) – Matrix nach PACKHAM 1954 und Qz (mono- und polykristalliner Quarz) – FSP – GBR nach McBRIDE 1963.

### Mineralbestand

Untersucht wurden die detritischen Komponenten Quarz, Feldspäte, Gesteinsbruchstücke und Glimmer, sowie die Grundmasse (Matrix, Zement) und das Schwermineralspektrum.

### Quarz

Monokristalliner Quarz hält sich mit Feldspat etwa die Waage. Polykristalline Quarzaggregate treten untergeordnet auf und wurden zu den Gesteinsbruchstücken

gerechnet. Die für die intrapermischen Vulkanite typischen einschlußfreien, nicht-undulösen Porphy Quarze (volcanic quartz type n. KRYNINE 1940) mit ihren charakteristischen Korrosionsschläuchen und -buchten (KRAINER 1985) treten selten auf. Die Hauptmasse bilden schwach undulöse, monokristalline Quarze, die häufig Mikrolithe und winzige Vakuolen aufweisen. Nach der Klassifikation von KRYNINE 1940 dürfte es sich um Quarze von plutonischem (granitoidem) Liefergestein handeln.

### Feldspat

Der hohe Gehalt an Feldspäten (s. Tab. 3) ist ein auffallendes Merkmal der Sandsteine der „Nördlichen Einlagerung“. Der Anteil an polysynthetisch verzweigten Plagioklasen überwiegt bei weitem über Kalifeldspäte; Mikrokline wurden nicht beobachtet. Die Hauptmasse der Feldspäte macht einen frischen, wenig zersetzten Eindruck. Sie sind jedoch reich an submikroskopischen bis mikrolithischen Einschlüssen, die deren Trübung bedingen. Nur ein kleiner Teil ist bereits teilweise oder gänzlich in Phyllosilikate umgesetzt und z. T. nur mehr als Pseudomorphosen erhalten. Authigene Anwachssäume konnten nur ganz vereinzelt festgestellt werden.

Mikrosondenanalysen ergaben, daß es sich zum überwältigenden Teil um reine Albite mit größer 97 Mol-% Ab-Komponente handelt (s. Tab. 4). Das Mittel aus 64 Messungen beträgt 95,4 Ab, 3,5 An und 1,1 Or. Oligoklase und Alkalifeldspäte treten stark in den Hintergrund. Im Diagramm nach TREVENA & NASH (1981: Fig. 1) plotten die Werte in das Feld der plutonischen und metamorphen Feldspäte. An den Feldspatkörnern konnte in Sondenprofilen weder ein Zonarbau, noch Hinweise auf authigene Anwachssäume (vgl. STABLEIN & DAPPLES 1977, KASTNER & SIEVER 1979) festgestellt werden.

Tab. 3: Quantitativer Mineralbestand (in Flächen-%) von Sandsteinproben der Nördlichen Plener Kehr

| Probe | Qm   | Qp  | Chert | Flsp | Gli | Chlorit | Karb-Z | Anh-Z | Qz-Z | Opak | Matrix |
|-------|------|-----|-------|------|-----|---------|--------|-------|------|------|--------|
| TS 6  | 37,4 | 4,0 | 2,5   | 40,8 | 3,5 | 4,5     | 0,2    | 0,3   | 0,2  | 1,4  | 5,2    |
| TS 16 | 39,1 | 6,5 | 8,2   | 31,8 | 2,8 | 1,0     | 3,1    | –     | 2,4  | 1,5  | 3,6    |
| TS 20 | 31,5 | 2,6 | 3,3   | 42,0 | 2,4 | 3,5     | 12,1   | 1,3   | –    | 0,2  | 1,1    |
| TS 21 | 38,8 | 3,7 | 8,5   | 33,3 | 4,3 | 2,7     | 4,1    | 2,1   | 0,2  | 0,7  | 1,7    |
| TS 30 | 32,8 | 9,1 | 8,5   | 31,4 | 4,5 | 4,0     | 1,4    | 0,7   | 3,1  | 0,4  | 4,1    |
| TS 33 | 43,5 | 5,7 | 7,0   | 28,2 | 4,5 | 0,5     | 4,4    | –     | 2,0  | 0,8  | 3,4    |
| TS 35 | 39,6 | 6,0 | 3,8   | 35,3 | 3,1 | 4,5     | 1,9    | 3,1   | 1,7  | –    | 1,0    |

#### Erklärung der Abkürzungen:

|        |                             |
|--------|-----------------------------|
| Qm     | monokristalliner Quarz      |
| Qp     | polykristalliner Quarz      |
| Chert  | vulkanische chert-Fragmente |
| Flsp   | Feldspäte                   |
| Gli    | detritische Glimmer         |
| Karb-Z | Karbonat-Zement             |
| Anh-Z  | Anhydrit-Zement             |
| Qz-Z   | Quarz-Zement                |

Tab. 4: Repräsentative Mikrosondenanalysen detritischer Sandsteinkomponenten

|                                | a     | b     | c     | d     | e      | f     | g     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 26,16 | 46,81 | 33,67 | 67,13 | 68,27  | 63,88 | 64,29 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,09  | 0,34  | 1,65  | 0,01  | 0,02   | 0,00  | 0,00  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,40 | 35,32 | 21,72 | 20,93 | 20,82  | 22,81 | 19,17 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,05  | 0,00  | 0,05  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,02  |
| FeO                            | 21,56 | 1,58  | 13,88 | 0,03  | 0,00   | 0,14  | 0,01  |
| MnO                            | 0,26  | 0,03  | 0,11  | 0,00  | 0,03   | 0,00  | 0,00  |
| MgO                            | 15,07 | 1,14  | 11,66 | 0,11  | 0,00   | 0,03  | 0,00  |
| CaO                            | 0,06  | 0,01  | 0,34  | 0,18  | 0,05   | 3,44  | 0,04  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,00  | 0,29  | 0,57  | 10,79 | 11,40  | 8,56  | 0,86  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,23  | 9,11  | 3,56  | 0,03  | 0,03   | 0,21  | 15,17 |
| Total                          | 86,88 | 94,63 | 87,21 | 99,21 | 100,63 | 99,07 | 99,56 |

a . . . Chlorit (Ripidolit)

b . . . Muskovit (phengitisch, 3.6 Mol-% Par-Anteil)

c . . . Biotit (chloritisiert)

d . . . Albit (98,89 Ab, 0,20 Or, 0,91 An)

e . . . Albit (99,57 Ab, 0,19 Or, 0,24 An)

f . . . Oligoklas (80,78 Ab, 1,31 Or, 17,91 An)

g . . . Orthoklas (7,92 Ab, 91,86 Or, 0,22 An)

### Gesteinsbruchstücke

a) Metamorphe GBR (polykristalliner Quarze). Sie treten absolut gesehen stark in den Hintergrund. Es wurden nur „recrystallized metamorphic quartz“ – Typen (KRYNINE 1940), also equigranulare mosaikartige Quarzaggregate, gefunden.

b) Vulkanische GBR (vulkanische chert-Fragmente). Sie lassen sich charakterisieren als bräunliche (Hämatitpigment) submikroskopisch verfilzte Bruchstücke von rekristallisiertem vulkanischem Glas bzw. Porphygrundmasse.

b) Sedimentäre GBR (chips, Konkretionen). An der Basis der Sandsteinschüttungen finden sich mm- bis maximal 1 cm lange aufgearbeitete flat pebbles. Sie bestehen aus dem dunkelroten siltig-tonigen Sediment des liegenden Abschnittes. Charakteristisch für die Gesteine der „Nördlichen Einlagerung“ ist das Auftreten von resedimentierten Karbonatkonkretionen und Bruchstücken davon, sowie nicht näher zuordenbaren mikritischen bis dolomitementierten Feinsandsteinklasten im mm- bis cm-Bereich.

### Detritische Glimmer

Häufig treten Hellglimmerscheiter, sowie Chlorit- und schmutzige Biotitschüppchen auf, die meist ss-parallel eingeregelt sind. Größere Kristalle sind häufig durch Kompaktion geknickt. Muskovite weisen nach Sondenanalysen 3,2–25,4 Mol-% Paragonit-Anteil (im Mittel 10,3) auf (s. Tab. 4). Die Biotite sind stets teilweise oder vollständig entmischt und in Opaksubstanz und Chlorit umgewandelt. Die Chlorite machen durch die Bank einen frischen Eindruck und plotten im Diagramm nach HEY (1954: Fig. 1a) hauptsächlich ins Feld der Pyknochlorite (s. Abb. 7).

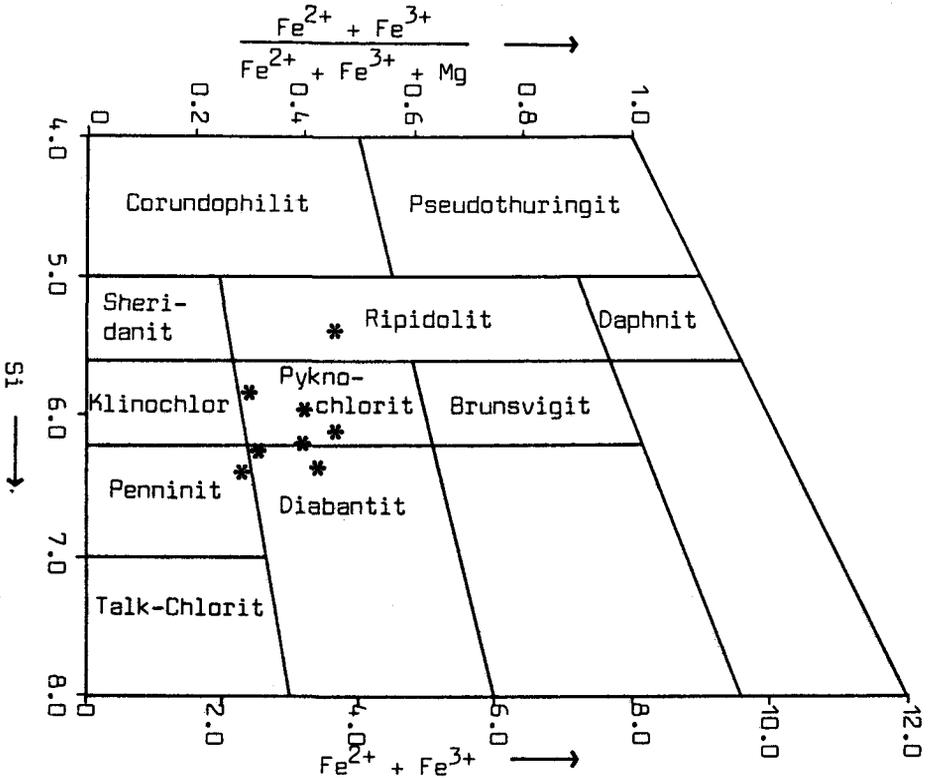


Abb. 7: Klassifikation der detritischen Chlorite nach HEY (1954: Fig. 1a)

### Grundmasse

Der Matrixgehalt schwankt stark (1–15%, jedoch meist 3–5%). Die Grundmasse besteht aus einem rotbräunlichen siltig-tonigen Sediment. Als Zement tritt Karbonat (Dolomit  $\pm$  Calcit, jedoch kein Magnesit im XRD) und Anhydrit auf. Karbonatzement zeigt fleckiges Auftreten von mikritischen bis feinkristallinen Aggregaten, die Quarz und Feldspat verdrängend gewachsen sind (spätdiagenetisch). Anhydrit schließlich verdrängt Karbonat, Quarz und Feldspat lokal begrenzt (vgl. FÜCHTBAUER 1967). Quarzzement konnte nur untergeordnet nachgewiesen werden; sein Erkennen ist schwierig.

### Schwerminerale

Die Fraktion 63–250  $\mu\text{m}$  wurde im Scheidetrichter mit Tetrabrommethan abgetrennt, Streupräparate angefertigt und unter dem Mikroskop mindestens 1000 Körner pro Probe ausgezählt.

Die absoluten SM-Gehalte sind einheitlich niedrig (im Mittel 0,22 Gew.-% der Gesamteinwaage), besonders wenn man berücksichtigt, daß keine vorhergehende Karbonatabtrennung (z. B. Essigsäure) durchgeführt worden ist. Wie aus Abb. 8

ersichtlich, weist das SM-Spektrum eine auffallende Ap-Vormacht gegenüber den ultrastabilen Mineralen Zi, Tu und Ru auf. Apatit ist bekanntlich im leicht alkalischen Milieu des Salzwassers relativ stabil (vgl. NICKEL 1973), jedoch unter sauren bis neutralen Bedingungen sehr instabil. Da wir als Ablagerungsraum für die Sedimente der „Nördlichen Einlagerung“ ein zumindest marginal marines environment annehmen müssen (s. u.), ist es nicht verwunderlich, daß dieses SM-Spektrum jenem aus den klastischen Anteilen der Werfener Schichten – etwa im Zr/Ru-Ap-Tu/Gr-Dreieck nach NIEDERMAYR 1975 – sehr ähnelt, und daher früher letzteren zugerechnet worden ist (WOLETZ, unveröff. Ber. 1979).

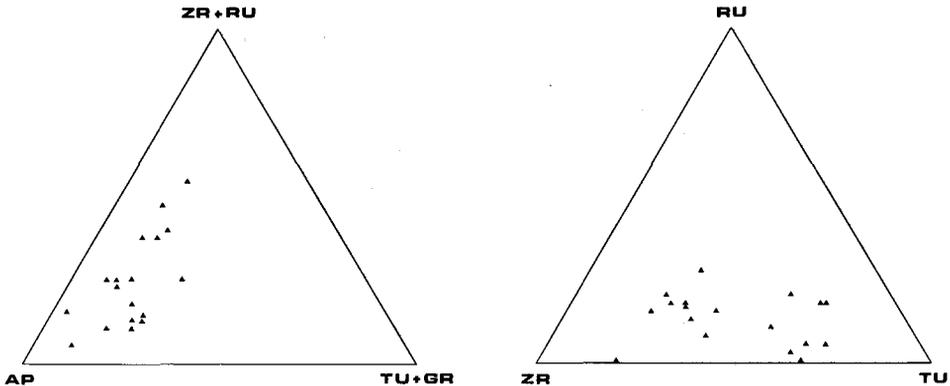


Abb. 8: Darstellung des Schwermineralspektrums der Sandsteinproben der „Nördlichen Einlagerung“ im ZTR-Diagramm und im Diagramm Ap – Zr + Ru – Tu + Gr nach NIEDERMAYR 1975.

### ZTR-Index

Nach diesem Index, der nach HUBERT 1962 ein Maß für die kompositionelle Maturität von SM-Spektren darstellt, plotten die untersuchten Proben der Einlagerung in den Bereich 5–52 mit einem ausgeprägten Häufigkeitsmaximum bei 30,8. Sie stimmen somit sehr gut mit den angegebenen Werten für Arkosen überein (l. c.).

### Zirkon

Es lassen sich deutlich zwei Populationen unterscheiden:

- Stark gerundete (Rundungsgrad 3–4 n. TRAUTNITZ in LOSKE 1985), anhedrale kurzprismatische Formen, meist trübe bis vollkommen getrübt (alle Übergänge zu Malakkons (Metamiktisierung).
- Nur schwach angerundete (Rundungsgrad 1 n. TRAUTNITZ l. c.) eu- bis subhedrale, kurz- bis langsäulige Zirkone, meist klar und stets farblos. Ein Zonarbau ist bisweilen zu beobachten. Sehr häufig sind blasig-schlauchige und mikrolithische Einschlüsse. Es überwiegen einfache Flächenkombinationen (Trachttyp 21/1 n. TOMITA & KARAKIDA in LOSKE 1985), was auf einen vulkanischen Ursprung hindeutet (vgl. KRAINER 1985).

Neu- und Weiterwachstum konnte nicht beobachtet werden.

## Turmalin

Die braunen Farbvarietäten herrschen klar gegenüber grünbraunen und grünen vor. Es dürfte sich um Fe-Dravit bis Mg-Fe-Schörl handeln (KRYNINE 1946). Sie liegen i. d. R. als mäßig bis kaum gerundete Bruchstücke von kurzsäuligem bis beinahe quadratischen Grundriß vor und sind häufig weitergewachsen (vgl. MADER 1980) – Abb. 9. U. a. konnte beobachtet werden, daß sich an ein braunes Turmalinmutterkorn ein klarer hellbrauner Anwachssaum gebildet hatte; i. a. handelt es sich jedoch um farblose, klare Anwachssäume, die stets nur an den Enden der langgestreckten Kristalle auftreten und gleiche optische Orientierung wie der Kern zeigen. Der Großteil der Turmaline ist einschlußarm (opake C-Inklusionen, seltener Mikrolithe).

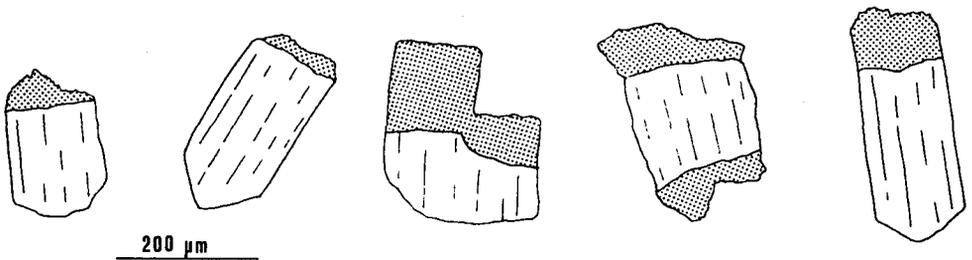


Abb. 9: Authigene Anwachssäume (punktierter Raster) um detritische Kerne bei Turmalinen

## Apatit

Apatit tritt in Form von mäßig gut gerundeten Körnern von langprismatischem, tonnenförmigen bis teilweise noch gut erkennbarem kurzprismatischem Habitus auf. Sie führen häufig winzige Einschlüsse (u. a. feinnadelige Zirkone, C-Einschlüsse, Fe-Oxide und fluid inclusions). Anzeichen für Ap-Neubildung oder Anwachssäume wurden nicht beobachtet. Neben farblosen, klaren Kristallen finden sich auch trübe, gut gerundete Exemplare, die nach REM-Untersuchungen durch korrodierte Kornoberflächen gekennzeichnet sind (vgl. MORTON 1986).

## Rutil

Er tritt mengenmäßig stark in den Hintergrund. Es herrschen durchwegs anhedrale bis subhedrale, mäßig gut gerundete Körner vor. Die Färbung schwankt von honiggelbbraun bis dunkelrotbraun (Übergänge zu Leukoxen-Aggregate existieren). Selten wurden Bruchstücke von Kniezwillingen beobachtet. Einschlüsse sind häufig (fluid inclusions, Mikrolithe).

## Chlorit und Biotit

Beide Mineralgruppen weisen auf Grund ihres stark schwankenden Chemismus und den häufig auftretenden Umwandlungs- und Zersetzungserscheinungen stark variierende Dichten auf (vgl. BOENICK 1983: Taf. 1) und geben somit nur Richtwerte. Auffallend ist jedoch der hohe absolute Anteil der Biotite. Sie sind sehr häufig entmischt und gebleicht zu schmutzigen Hellglimmern. Die Chlorite sind meist

frisch und nur vereinzelt konnten Entmischungen in Hämatit und Erz festgestellt werden.

### Diagenese

Folgende Prozesse sind im Zuge der Diagenese dieser permischen Sedimente abgelaufen:

- Bildung und Wachstum von Calcit/Dolomit-Konkretionen. Die Entwicklung blieb entweder im Anfangsstadium (Typ 1, 2) stecken oder führte zur Septarienbildung mit Calcit-, seltener Anhydrit- oder Barytauskristallisation. Anklänge an echte Caliche-Bildungen in situ wurden jedoch nicht beobachtet.
- Bildung von Qz-Zement in Form von syntaxialen Anwachs säumen und Porenraumfüllung
- Diagenetische Bildung von Karbonat in Sandsteinen. Er verdrängt detritische Komponenten.
- Nur sehr selten kam es zur Ausbildung von Anwachs säumen um Feldspäte, die in einem marine Milieu eigentlich zu erwarten wären (vgl. KASTNER & SIEVER 1979, KRAINER 1985).
- Umwandlung von detritischen Biotiten in Hämatit, Chlorit und Opaksubstanz
- Bildung authigener Anwachsungen an detritären Turmalinen
- Sulfatfällung von Anhydritzement und -knollen (über Gips-Vorläufer)

### 5. Fossilien

Abgesehen von kaum näher bestimmbar en Pflanzenresten, relativ schlecht erhaltenen Palynomorphen (s. u.) und seltenen Ostrakodenschälchen konnten lediglich wenige Exemplare einer kleinen Muschel gefunden werden. Es dürfte sich mit großer Wahrscheinlichkeit um die Gattung *Liebea* WAAGEN handeln. Die gut erhaltenen Exemplare (1 komplettes und 3 Bruchstücke) weisen glatte Schalen mit deutlichen konzentrischen Anwachsstreifen auf. Abmessungen am kompletten Stück: L = 8 mm, B = 4,2 mm. Die Gattung *Liebea* tritt nach Literaturangaben übereinstimmend im marinen mittleren bis höheren Perm auf (NEWELL 1939, BRANSON 1948, MOORE 1969, MÜLLER 1980), wobei die beiden Spezies *L. squamosa* (SOWERBY 1829) und *L. septifer* (KING 1850) häufige Fossilien des germanischen Zechsteins darstellen. Über deren genaue biostratigraphische Verbreitung herrschen noch Unklarheiten (GRÜNDEL 1973, KOWALCZYK & PRÜFERT 1974, KLAPCINSKY & KARWOWSKI 1981). Nach GRÜNDEL l. c. lassen sich die beiden von KING 1850 aufgestellten Arten rein morphologisch gut auseinanderhalten. Demnach können die Exemplare der „Nördlichen Einlagerung“ ziemlich eindeutig der Art *Liebea squamosa* zugeordnet werden (Taf. 2, Fig. 2).

### 6. Stratigraphische Einstufung der „Nördlichen Einlagerung“

Die sedimentologische Entwicklung der „Nördlichen Einlagerung“ weicht gänzlich von der auch obertage im Gebiet um den Plassen schlecht aufgeschlossenen Werfener Schichten (Skyth) ab (vgl. SCHÄFFER 1971; MOSTLER & ROSSNER 1977; 1984; BRANDNER et al. 1984). Folgende weitere Argumente können als Belege für ein Oberperm-Alter dieser Sedimente herangezogen werden.

– Der an zwei anhydritischen Proben analysierte  $\delta^{34}\text{S}$ -Wert beträgt + 9,9 bzw. + 10,9‰ (PAK 1981: 189). Derart tiefe Delta-Werte kennzeichnen weltweit das Meerwasser des Oberen Perms (CLAYPOOL et al. 1980, CORTECCI et al. 1981, PAK & SCHAUBERGER 1981, CLEMMENSEN et al. 1985).

– KLAUS (1963, 1972, 1987) kam auf Grund regionaler Vergleiche der Sporen- und Pollenflora zur Überzeugung, daß die Mikroflora der „Nördlichen Einlagerung“ enge Beziehungen zu der des Grödener Sandsteines aufweist (1963: 348). Er und SINGH (1965) führen hohe Prozentsätze von *Lueckisporites virkkiae* und *Gigantospores hallstattensis* an, neben seltenerem Vorkommen von *Klausipollenites schaubergeri*, *Nuskosporites dulhuntyi*, *Falcisporites zapfei* und *Jugasporites delasaucei*. Nach der Biostratigraphie von VISSCHER & BRUGMAN 1981: 117 ist damit eindeutig Oberperm belegt.

– Das Auftreten von *Liebea squamosa* weist klar auf ein Oberperm/Zechstein-Alter hin.

– Dunkelgraue, feinkörnige Sedimente mit Azurit/Malachitanflügen sind aus den Werfener Schichten nicht bekannt. Aus den oberpermischen Evaporiten des Alpenen Haselgebirges jedoch wurde wiederholt eine spurenhafte Cu-Pb-Zn-U-Mineralisation beschrieben (HADITSCH 1965, 1973, HADITSCH & MOSTLER 1974, 1982).

## 7. Versuch einer faziellen Interpretation

Nach den zur Verfügung stehenden Daten wäre die Annahme eines sehr flach subtidalen randmarinen Ablagerungsraumes am wahrscheinlichsten. Die siltigtonige Sedimentation wurde häufig von gravitativen Einschaltungen submariner Schuttfächer unterbrochen, die unreife Sedimente von nahen Auftauchbereichen in ein wiederholt evaporitisches Grabenbruchbecken transportierten. Sichere Anzeichen für ein länger dauerndes Trockenfallen konnten in der siliziklastischen Abfolge nicht beobachtet werden; für den überlagernden massigen Anhydrit ist die Annahme einer Sabkha-Fazies plausibel.

Aufgearbeitete Tonscherben, Caliche- und einige Carneol-Gerölle, sowie die lagenweise Anreicherung von größeren Pflanzenresten spricht für nahe gelegene Auftauchgebiete. Die zwischengeschalteten Sandsteinschüttungen dürften grain flows zuzuschreiben sein, die im Hangenden in turbiditische Sedimente überleiten.

Das environment dürfte nach dem fast gänzlichen Fehlen von Fossilien, dem häufigen Auftreten von Anhydrit (als Zement und als Knollen) und dunklen, pyritreichen Lagen zu urteilen, stark hypersalin und wiederholt reduzierend gewesen sein und leitet im Hangenden in eine rein evaporitische Fazies mit massigem Anhydrit über.

Eine vergleichbare Oberperm-Entwicklung wurde bisher aus dem nordalpinen Faziesraum nicht beschrieben. Das veranlaßte TOLLMANN 1976: 39, in Anlehnung an KLAUS hier von Äquivalenten der südalpinen Grödener Schichten zu sprechen.

Nach Ansicht des Verfassers könnte es sich bei der „Nördlichen Einlagerung“ im Hallstätter Salzberg um ein Relikt jener oberpermischen klastischen Randfazies handeln, die – bisher nicht bekannt – zwischen dem eigentlichen Salinar des Alpenen Haselgebirges als marine Grabenbruchbildung und den kontinental-terrestrischen Prebichl-Schichten und „Verrucano“ vermittelt. Die Frage nach dem fast völligen

Fehlen dieser Faziesausbildung – jüngst konnte der Autor auch im Dürrnberg/Hallein eine analoge Entwicklung ausfindig machen (Bestätigung durch unpublizier- te S-Isotopendaten) – hängt ursächlich mit dem großen Problemkreis „Genese des Haselgebirges“ zusammen. Es sei abschließend nur noch hervorgehoben, daß die kennzeichnenden siltigen Komponenten des sog. Rotsalzgebirges (sensu SCHAUBER- GER 1949) vollkommen den Lithofaziestypen der „Nördlichen Einlagerung“ glei- chen.

### Danksagung

Den Herrn der Betriebsleitung des Salzbergbaues Hallstatt, Dir. Dr. M. Hoscher und Bergmeister B. Unterberger, sei für die Erlaubnis der Grubenbefahrung und Probennahme gedankt. Herr Unterberger stellte dankenswerterweise seine aufge- sammelten *Liebea*-Exemplare zur Verfügung und Herr HR Dr. O. Schaubberger gewährte mir Einblick in unveröffentlichte Untersuchungen. Herrn Univ.- Prof. Dr. H. Mostler und Dr. K. Krainer gebührt herzlicher Dank für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

### 8. Literaturverzeichnis

- ASTIN, T. R.: Septarien crack formation in carbonate concretions from shales and mudstones – Clay Minerals, **21**, 617–631, London 1986.
- BOENICK, W.: Schwermineralanalyse – 158 S., Stuttgart (Enke) 1983.
- BOTZ, R. & MÜLLER, G.: Mineralogie, Petrographie, anorganische Geochemie und Isotopen- Geochemie der Karbonatgesteine des Zechstein 2 – Geol. Jb., **D 47**, 3–112, Hannover 1981.
- BRANDNER, R., DONOFRIO, D. A., KRAINER, K., MOSTLER, H., RESCH, W. & STINGL, V.: Correlation of transgressional and regressional events in the Lower Triassic of the Northern and Southern Alps (Buntsandstein-, Servino-, Werfen Formation) – 5<sup>th</sup> European regional meeting of sedimentology (IAS), poster representation (abstract, 2 S.), Marseille 1984.
- BRANSON, C. C.: Bibliographic index of Permian Invertebrates – Mem. geol. Soc. Amer., **26**, 1049 S., Washington 1948.
- CAS, R.: Mass-flow arenites from a paleozoic interarc basin, New South Wales, Australia: Mode and environment of emplacement – J. Sed. Petrol., **49/1**, 29–44, Tulsa 1979.
- CLAYPOOL, G. E., HOLSER, W. T., KAPLAN, I. R., SAKAI, H. & ZAK, I.: The age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation – Chem. Geol., **28**, 199–260, Amsterdam 1980.
- CLEMMENSEN, L., HOLSER, W. T. & WINTER, D.: Stable isotope study through the Permian- Triassic boundary in East Greenland – Bull. geol. Soc. Denmark, **33**, 253–260, Copenhagen 1985.
- 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.
- FÜCHTBAUER, H.: Der Einfluß des Ablagerungsmilieus auf die Sandsteindiagenese im Mittleren Buntsandstein – Sed. Geol., **1**, 159–179, Amsterdam 1967.
- 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.
- GOUDIE, A. S.: Calcrete. – [In:] GOUDIE, A. S. & PYE, K. (ed.): Chemical sediments and geomorphology: precipitates and residua in the near-surface environment, 93–131, London (Academic Press) 1983.
- GRÜNDEL, J.: Zur Kenntnis der Gattung *Liebea* (Bivalvia) im deutschen Zechstein – Freib. Forschungsh., **C 282**, 89–97, Freiberg 1973.

- HADITSCH, J. G.: Die Gipslagerstätte Schildmauer bei Admont und ihre Kupfererzspuren – Arch. Lagerst.-forsch. Ostalpen, 3, 125–142, Leoben 1965.
- HADITSCH, J. G.: Kupferkies im Steinsalz von Mitterberg (Mühlbach am Hochkönig) – Arch. Lagerst.-forsch. Ostalpen, 14, 55–60, Leoben 1973.
- HADITSCH, J. G. & MOSTLER, H.: Mineralisationen im Perm der Ostalpen – Carinthia II, 164/84, 63–71, Klagenfurt 1974.
- HADITSCH, J. G. & MOSTLER, H.: Late Variscan and early alpine mineralization in the Eastern Alps – [in:] AMSTUTZ, G. C., El Goresy, A., Frenzel, G., Kluth, C., Moh, G., Wauschkuhn, A. & Zimmermann, R. A. (ed.): Ore Genesis – The State of the Art, 582–589, Berlin (Springer) 1982.
- HESS, R. & ROSSNER, R.: Die Lithofazies der Salberg-Schichtenfolge (Permoskyth) im Bereich Liezen-Admont (Steiermark, Österreich) – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 30/31, 95–116, Wien 1984.
- HEY, M. H.: A new review of chlorites – Min. Mag., 30, 277–292, London 1954.
- HOFMANN, E.: Paläobotanik im Dienste der Geologie und Montanistik – Verh. geol. B.-A., Sh. G, 72–76, Wien 1952.
- HORINEK, A.: Über die im Kaiser-Franz-Josef-Stollen zu Hallstatt gemachten Gebirgsaufschlüsse – Verh. geol. R.-A., 1870/5, 76–78, Wien 1870.
- HORINEK, A.: Über den gegenwärtigen Stand der neuen Aufschlußarbeiten im Hallstätter Salzberg – Verh. geol. R.-A., 1871/14, 254–255, Wien 1871.
- HUBERT, J. F.: A zirkon-tourmaline-rutil maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones – J. Sed. Petrol., 32/3, 440–450, Tulsa 1962.
- KASTNER, M. & SIEVER, R.: Low temperature feldspars in sedimentary rocks – Am. J. Sci., 279, 435–479, New Haven 1979.
- KIRCHNER, E. CH.: Pumpellyitführende Kissenlavabreccien in der Gips-Anhydrit-Lagerstätte von Wienern am Grundlsee, Steiermark – Tschermarks miner. petrogr. Mitt., (3) 26, 149–162, Wien 1979.
- KIRCHNER, E. CH.: Vulkanite aus dem Permoskyth der Nördlichen Kalkalpen und ihre Metamorphose – Mitt. österr. geol. Ges., 71/72, (1978/79), 385–396, Wien 1980.
- KLAPCINSKI, J. & KARWOWSKI, L.: Stratigraphical analysis of the Zechstein deposits in western Poland based on macrofaunal studies – Proc. Int. Sym. Central European Permian, Jablonna 1978, 490–499, Warszawa 1981.
- KLAUS, W.: Sporen aus dem südalpinen Perm: Vergleichsstudie für die Gliederung nordalpiner Salzserien – Jb. geol. B.-A., 106, 229–361, Wien 1963.
- KLAUS, W.: Zur Einstufung alpiner Salztone mittels Sporen – Verh. geol. B.-A., Sh. G, 288–292, Wien 1965.
- KLAUS, W.: Möglichkeiten in der Stratigraphie im „Permoskyth“ – Verh. geol. B.-A., 1972, 33–34, Wien 1972.
- KLAUS, W.: Einführung in die Paläobotanik. Fossile Pflanzenwelt und Rohstoffbildung, Bd. 1, 314 S., Wien (Deuticke) 1987.
- KOBER, L.: Der Hallstätter Salzberg – Sitz.-ber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., Abt. I, 138, 35–45, Wien 1929.
- KOWALCZYK, G. & PRÜFERT, J.: Gliederung und Fazies des Perms in der Wetterau (Hessen) – Z. dt. geol. Ges., 125, 61–90, Hannover 1974.
- KRAINER, K.: Zur Sedimentologie des Alpenen Buntsandsteins und der Werfener Schichten (Skyth) Kärntens – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 14/2, 21–81, Innsbruck 1985.
- KRAINER, K. & STINGL, V.: Alluviale Schuttfächersedimente im Ostalpinen Perm am Beispiel der Präbichlschichten an der Typuslokalität bei Eisenerz/Steiermark (Österreich) – Mitt. österr. geol. Ges., 78, (1985), 231–249, Wien 1986.
- KRYNINE, P. D.: Petrology and genesis of the Third Bradford Sand – Bull. Pennsylvania State Coll., 29, 134 S., 1940.
- KRYNINE, P. D.: The tourmaline group in sediments – J. Geol., 54, 65–87, Chicago 1946.
- LEIN, R.: Das Mesozoikum der Nördlichen Kalkalpen als Beispiel eines gerichteten Sedimentationsverlaufes infolge fortschreitender Krustenausdünnung – Arch. Lagerst.-forsch. geol. B.-A., 6, 117–128, Wien 1985.

- LOSKE, W. P.: Die Zirkonvarietätenanalyse als Beitrag zur Ermittlung von Sedimentschüttungen im Elbe-Sattel (Unterdevon, Rheinisches Schiefergebirge) – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 170/3, 385–417, Stuttgart 1985.
- MADER, D.: Turmalinauthigenese in Bröckelbänken aus dem Oberen Buntsandstein der nördlichen Trier Bucht (Westeifel) – Aufschluß, 31, 249–256, Heidelberg 1980.
- MAIKLEM, W. R., BEBOUT, D. G. & GLAISTER, R. P.: Classification of anhydrite – practical approach – Bull. Can. Petrol. Geol., 17/2, 194–233, Calgary 1969.
- MCBRIDE, E. F.: A classification of common sandstones – J. Sed. Petrol., 33/3, 664–669, Tulsa 1963.
- MEDWENITSCH, W.: Geologie und Tektonik der alpinen Salzlagerstätten – Mitt. natwiss. Arb.-gem. Haus der Natur, 6–8, 1–13, Salzburg 1955.
- MOORE, R. C. (ed.): Treatise on Invertebrate Paleontology. – Part N, Vol. 1, Lawrence (Univ. Kansas) 1969.
- MORTON, A. C.: Dissolution of apatite in North Sea Jurassic sandstones: implications for the generation of secondary porosity – Clay Minerals, 21, 711–733, London 1986.
- MOSTLER, H.: Zur Gliederung der Permoskyth-Schichtfolge im Raume zwischen Wörgl und Hochfilzen (Tirol) – Verh. geol. B.-A., 1972, 155–162, Wien 1972.
- MOSTLER, H. & ROSSNER, R.: Stratigraphisch-fazielle und tektonische Betrachtungen zu Aufschlüssen in skythisch-anischen Grenzschiechten im Bereich 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.
- MÜLLER, A. H.: Lehrbuch der Paläozoologie. – Bd. II, Tl. 1, 628 S., Jena (Fischer) 1980.
- NEWELL, N. D.: Permian pelecypod genus *Liebea* – J. Paleont., 13/6, 589–593, Chicago 1939.
- NICKEL, E.: Experimental dissolution of light and heavy minerals in comparison with weathering and intrastatal solution – Contr. Sed., 1, 1–68, Stuttgart 1973.
- NIEDERMAYR, G.: Gedanken zur lithofaziellen Gliederung der postvariszischen Transgressions-Serie der westlichen Gailtaler Alpen, Österreich. – Mitt. österr. geol. Ges., 66/67, (1973/74), 105–126, Wien 1975.
- PAK, E.: Schwefelisotopenuntersuchungen am Institut für Radiumforschung und Kernphysik III – Anz. österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., 118, 187–198, Wien 1981.
- PAK, E. & SCHAUBERGER, O.: Die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels Schwefelisotopenuntersuchungen – Verh. geol. B.-A., 1981/2, 185–192, Wien 1981.
- PACKHAM, G. A.: Sedimentary structures as an important feature in the classification of sandstones – Am. J. Sci., 252, 466–476, New Haven 1954.
- POSCHER, G.: Klastisch-terrestrisches Permoskyth am Südrand der Nördlichen Kalkalpen – eine Faziesanalyse – Unveröff. Dipl. Arb. Univ. Innsbruck, 98 S., Innsbruck 1985.
- RAISWELL, R.: The growth of Cambrian and Liassic concretions – Sedimentology, 17, 147–179, Oxford 1977.
- SCHÄFFER, G.: Die Hallstätter Triasentwicklung um den Plassen (OÖ) – Unveröff. Diss. Phil. Fak., Univ. Wien., 198 S., Wien 1971.
- SCHAUBERGER, O.: Die stratigraphische Aufgliederung des alpinen Salzgebirges – Berg- und Hüttenmänn. Mh., 94/3, 46–56, Wien 1949.
- SCHAUBERGER, O.: Zur Genese des alpinen Haselgebirges – Z. dt. geol. Ges., 105, 736–751, Hannover 1955.
- SCHAUBERGER, O.: Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars – Arch. Lagerst.-forsch. geol. B.-A., 7, 217–254, Wien 1986.
- SCHWEITZER, H.-J.: Die Makroflora des niederrheinischen Zechsteins – Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 6, 331–376, Krefeld 1962.
- SINGH, H. P.: Saccate pollen grains from the Lower Triassic of Hallstatt, Austria – Palaeobot., 13/1, 74–81, Lucknow 1965.
- SPENGLER, E.: Die Gebirgsgruppe des Plassen und Hallstätter Salzberges im Salzkammergut – Jb. geol. R.-A., 68 (1918), 285–474, Wien 1919.
- SPRINGER, N.: A geochemical study on Zechstein salt and anhydrite from the Batum-1A well – Zechstein Salt Denmark, Salt Research Proj. EFP-81, 2, 83–110, Copenhagen (Geol. Survey Denmark) 1984.

- STABLEIN, N. K. & DAPPLES, E. C.: Feldspars of the Tunnel City Group (Cambrian), Western Wisconsin – *J. Sed. Petrol.*, **47/4**, 1512–1538, Tulsa 1977.
- STINGL, V.: Sedimentologie und Vererzung des Alpinen Verrucano im Stanzertal (Tirol) – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, **12/3**, 71–80, Innsbruck 1982.
- STINGL, V.: Ein Beitrag zur Fazies der Prebichlschichten zwischen St. Johann i. T. und Leogang (Tirol/Salzburg) – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, **12/10**, 207–233, Innsbruck 1983.
- TOLLMANN, A.: Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums. Stratigraphie, Fauna und Fazies der Nördlichen Kalkalpen – Monographie der Nördlichen Kalkalpen, Bd. 2, 580 S., Wien (Deuticke) 1976.
- TOLLMANN, A.: Entstehung und früher Werdegang der Tethys mit besonderer Berücksichtigung des mediterranen Raumes – *Mitt. österr. geol. Ges.*, **77**, 93–113, Wien 1984.
- TREVENA, A. S. & NASH, W. P.: An electron microprobe study of detrital feldspar – *J. Sed. Petrol.*, **51/1**, 137–150, Tulsa 1981.
- VISSCHER, H. & BRUGMAN, W. A.: Ranges of selected palynomorphs in the alpine Triassic of Europe – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **34**, 115–128, Amsterdam 1981.
- WRIGHT, V. P.: Calcrete palaeosols from the Lower Carboniferous Llanelly Formation, South Wales – *Sed. Geol.*, **33**, 1–33, Amsterdam 1982.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 27. Februar 1987.

#### Tafel 1

- Fig. 1: In situ-Dolomitkonkretion in schräg geschichtetem Grobsilt. Marginal erkenntlich die umgebende Reduktionszone, an die sich der karbonatzementierte Konkretionskörper anschließt. Beginnende Septarienbildung. LFT 1. Bildbreite = 16 mm. Probe TS 23
- Fig. 2: Resedimentierte Calcit/Dolomitkonkretionen in einer tonig-sandigen Matrix (LFT 2). Bildbreite 9,9 mm. Probe TS 3

Tafel 1

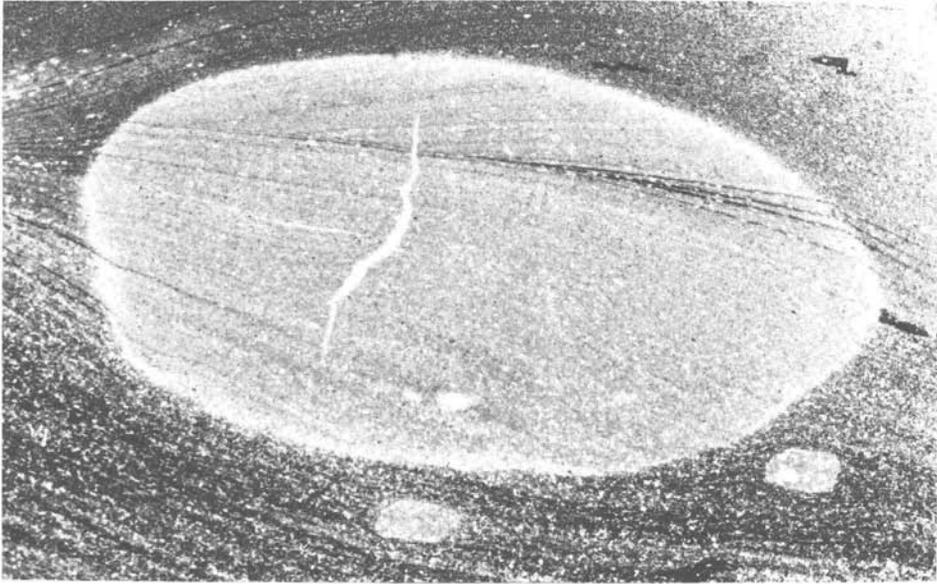


Fig. 1

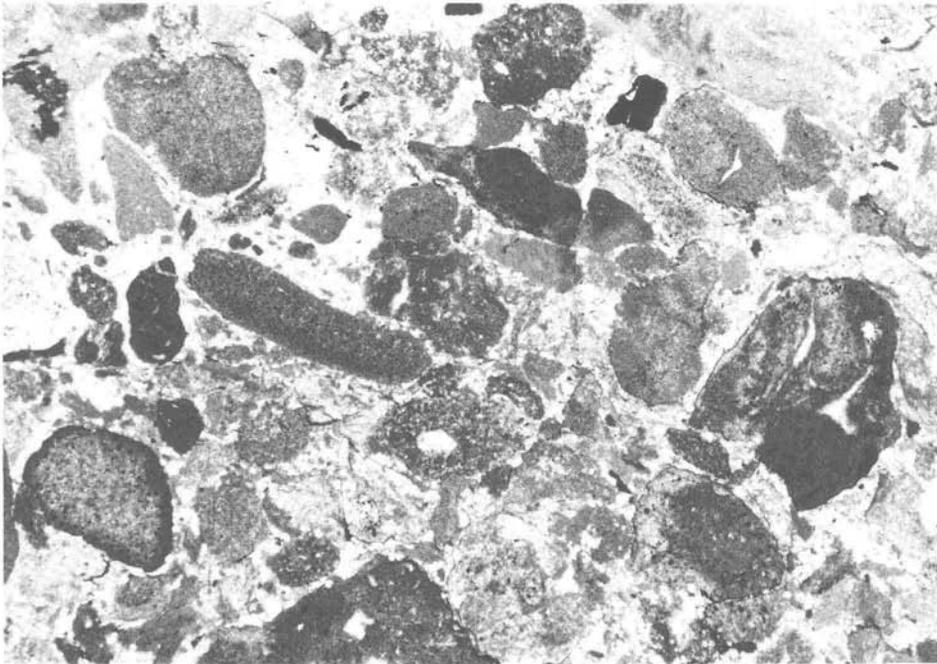


Fig. 2

## Tafel 2

- Fig. 1: Frühdiagenetisch gebildete Anhydritknolle, umgeben von einem schmalen, grauen Reduktionssaum in einem siltig/feinsandigen Muttersediment (LFT 4). Bildbreite = 7 mm. Probe TS 29
- Fig. 2: *Liebea squamosa* (SOWERBY). Bildbreite = 11 mm



Fig. 1



Fig. 2

